

Universidade Federal Fluminense
Instituto de Geociências – Departamento de Geologia e Geofísica Marinha

Caracterização Morfológica e Sedimentar a Partir de Dados
de Multifeixe na Baía Foster, Ilha Deception, Antártica

Filipe Japiassú Leitão

Niterói
2015

Filipe Japiassú Leitão

Caracterização Morfológica e Sedimentar a Partir de Dados
de Multifeixe na Baía Foster, Ilha Deception, Antártica

Projeto Final de conclusão do curso de
graduação em Geofísica da Universidade
Federal Fluminense (UFF), como requisito
parcial do título de bacharel em Geofísica.

Orientador: Arthur Ayres Neto

Niterói

2015

L533

Leitão, Filipe Japiassú

Caracterização morfológica e sedimentar a partir de dados de multifeixe na Baía Foster, Ilha Deception, Antártica / Filipe Japiassú Leitão. – Niterói : [s.n.], 2015.

62 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geofísica) –
Universidade Federal Fluminense, 2015.

1.Batimetria. 2.Fundo marinho. 3.Geologia marinha.
4.Geoacústica submarina. I.Título.

CDD 551.460809989

Universidade Federal Fluminense
Instituto de Geociências – Departamento de Geologia e Geofísica Marinha
Curso de Geofísica

Filipe Japiassú Leitão

Caracterização Morfológica e Sedimentar a Partir de Dados
de Multifeixe na Baía Foster, Ilha Deception, Antártica

Projeto Final: Requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em
Geofísica, examinado em 17 de Julho de 2015 por:

Prof. Dr. Luis Antonio P. Gamboa
Lagemar - UFF

Prof. Fábio Magrani
UFRJ

Prof. Dr. Rosemary Vieira
Departamento de Geografia - UFF

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmão pelo amor, carinho e apoio em casa.

Aos meus colegas de classe e amigos pela contribuição no meu crescimento profissional e pessoal ao longo da graduação.

Ao corpo docente do Lagemar, pela transmissão de conhecimento, em especial ao meu orientador Arthur Ayres pelas oportunidades que me proporcionou e por seus conselhos.

Ao Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), em especial aos profissionais envolvidos no projeto LEPLAC que proporcionaram um ótimo ambiente de trabalho em meu período de estágio.

Resumo

Sonares multifeixe têm transformado a área de geoacústica submarina e se apresentado como uma ferramenta essencial para a caracterização do fundo marinho. Este trabalho consiste na demonstração do processamento e interpretação de dados batimétricos, suportados por amostragens geológicas, coletados na região da ilha de Deception, Ilhas Shetland do Sul – Antártica, apresentando assim uma boa caracterização morfológica e sedimentar para o seu fundo marinho. Os dados foram coletados durante uma comissão da Marinha do Brasil, denominada OPERANTAR XXXII, totalizando 28 linhas batimétricas na região e 4 amostras geológicas de superfície utilizando-se um amostrador tipo *Box-Corer*. Pela análise dos mapas, modelos digitais de terreno e perfis morfológicos gerados para a área, identificaram-se ravinas, uma depressão e uma estrutura em cone vulcânico como características importantes da morfologia da região. O fundo marinho da ilha de Deception é constituído predominantemente por uma lama com alta concentração de grãos de silte. Essa caracterização foi feita pela análise do mosaico de intensidades de sinal *backscatter* gerado para a região pelo processamento dos dados do sinal de retorno em conjunto com a interpretação das características das amostras geológicas coletadas.

Abstract

Multibeam sonar systems have transformed the area of underwater geoacoustics and present an essential tool for seabed characterization. This work aims to demonstrate the processing and interpretation of bathymetric data, supported by geological samples collected in the area of Deception Island, South Shetland Islands – Antarctica, presenting a morphological and sedimentary characterization for its seabed. Data were collected during a commission of the Brazilian Navy, known as OPERANTAR XXXII, totaling 28 bathymetric lines in the region and 4 geological surface samples using a Box-Corer sampler. By analyzing the maps, digital terrain models and morphological profiles generated for the area, we identified ravines, a depression and a volcanic structure as important characteristics of the morphology of the region. The seabed of Deception Island is predominantly composed of mud with high concentrations of silt grains. This characterization was performed by analyzing the mosaic of backscattering signal intensities generated for the region, together with the interpretation of geological characteristics of the collected samples.

Sumário

Resumo.....	V
Abstract.....	VI
Lista de Figuras.....	VIII
Lista de Tabelas.....	X
Lista de Equações.....	X
1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	3
3. Área de Estudo e sua Geologia.....	4
4. Sistema Multifeixe.....	8
5. Classificação Acústica.....	10
6. Características Importantes do Sonar.....	12
6.1. O Transdutor.....	12
6.2. A Duração do Pulso.....	13
6.3. Quantidade de Energia Transmitida.....	14
6.4. Repetição do Sinal.....	14
6.5. Ruídos.....	14
7. Pré-Levantamento.....	16
7.1. Jogo (<i>Roll</i>).....	17
7.2. <i>Latency</i>	17
7.3. Arfagem (<i>Pitch</i>).....	17
7.4. Guinada (<i>Yaw</i>).....	17
7.5. Afundamento (<i>Heave</i>).....	17
8. Metodologia.....	19
8.1. A Aquisição de Dados.....	20
8.2. Processamento de Dados.....	20
8.3. Processamento dos Dados Coletados na Ilha de Deception.....	21
8.3.1. Processamento de Batimetria em <i>Caris Hips & Sips 9.0</i>	21
8.3.2. Processamento de <i>Backscatter</i> em <i>Caris Hips & Sips 9.0</i>	33
8.3.3. Coleta e Análise das Amostras de Fundo da Ilha de Deception.....	33
9. Resultados.....	38
10. Conclusão.....	49
11. Referências.....	51

Lista de Figuras

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO EXATA DA ILHA DE DECEPTION, FORMANDO O CONJUNTO DAS ILHAS SHETLAND DO SUL A NOROESTE DA PENÍNSULA ANTÁRTICA.....	4
FIGURA 2 - ELEMENTOS TECTÔNICOS E PRINCIPAIS LIMITES DAS PLACAS LITOSFÉRICAS, ENTRE A AMÉRICA DO SUL E A PENÍNSULA ANTÁRTICA. BASEADO EM DALZIEL (1983), MODIFICADO DE GAMBOA (1988).....	6
FIGURA 3 - GEOMETRIA DOS FEIXES PARA UM EQUIPAMENTO MULTIFEIXES. MODIFICADO DE USACE (2001).....	8
FIGURA 4 - RELAÇÃO ENTRE A INTENSIDADE DO SINAL E A VARIAÇÃO ANGULAR. NOTE QUE CADA TIPO DE FUNDO SE COMPORTA DE MANEIRA DIFERENTE COM A VARIAÇÃO ANGULAR. (UNB TRAINING COURSE, 2005).....	11
FIGURA 5 - LARGURA DO FEIXE (COLLINS E RHYNAS, 1998).....	13
FIGURA 6 – MOVIMENTOS REALIZADOS POR UM NAVIO QUE INFLUENCIAM OS DADOS BATIMÉTRICOS QUANDO EM OCEANO.	16
FIGURA 7 - CONFIGURAÇÃO DOS TRABALHOS A SEREM FEITOS VISANDO À CORREÇÃO NECESSÁRIA PARA OS MOVIMENTOS DO NAVIO E ATRASOS NO TEMPO DE TRÂNSITO DOS DADOS. MOVIMENTOS: A) <i>ROLL</i> B) CORREÇÃO DE TEMPO <i>LATENCY</i> C) <i>PITCH</i> D) <i>YAW</i> . AS LINHAS EM VERDE REPRESENTAM O FUNDO MARINHO. MODIFICADO DE USACE (2001).....	18
FIGURA 8 - NAVIO POLAR ALMIRANTE MAXIMIANO QUE REALIZOU O LEVANTAMENTO CUJOS DADOS COLETADOS FORAM UTILIZADOS NESTE TRABALHO (FONTE: MARINHA DO BRASIL).	19
FIGURA 9 - INTERFACE INICIAL DO SOFTWARE <i>CARIS HIPS & SIPS 9.0</i> AO SEREM CARREGADOS OS DADOS DO PROJETO, ONDE É POSSÍVEL VISUALIZAR AS LINHAS BATIMÉTRICAS NO <i>DISPLAY</i> DO PROGRAMA.....	22
FIGURA 10 – LINHAS REPRESENTANDO A NAVEGAÇÃO E CONSEQUENTE COLETA DE DADOS BATIMÉTRICOS NA ENSEADA DA ILHA DE DECEPTION.....	23
FIGURA 11 - ANÁLISE DE <i>SPIKES</i> , PARA UM DOS LADOS DE TAL ETAPA DO LEVANTAMENTO, LADO REPRESENTADO PELA COR ROSA, ACIMA O PERFIL DOS FEIXES VISTOS VIA <i>SIDE VIEW</i> , E ABAIXO, O RESPECTIVO PERFIL DE FUNDO PARA UMA DADA FAIXA DOS FEIXES.	24
FIGURA 12 - IMAGEM QUE MOSTRA AS DUAS FAIXAS DE FEIXES GERADAS PELO ECOBATÍMETRO APÓS A LIMPEZA DE <i>SPIKES</i> PARA DADA ÁREA DA LINHA ANALISADA.	25
FIGURA 13 - VARIAÇÕES ADQUIRIDAS PELO SENSOR DE MOVIMENTO EM UMA LINHA DE AQUISIÇÃO REALIZADA NA ENTRADA DA ENSEADA.....	26
FIGURA 14 - VARIAÇÕES ADQUIRIDAS PELO SENSOR DE MOVIMENTO EM UMA LINHA DE AQUISIÇÃO REALIZADA NO INTERIOR DA ENSEADA.	27

FIGURA 15 - MAPA BATIMÉTRICO PARCIAL PARA A REGIÃO DE ESTUDO. É POSSÍVEL SE ANALISAR, MESMO QUE NÃO SENDO O MODELO FINAL GERADO, DIFERENTES FEIÇÕES DA ÁREA NESTE MODELO E SUAS PROFUNDIDADES.	28
FIGURA 16 - MODELO PARCIAL DE TERRENO EM 3D PARA A REGIÃO DE ESTUDO.....	29
FIGURA 17 - PERFIL WNW-ESE CRUZANDO GRANDE PARTE DA ENSEADA DE DECEPTION, APRESENTANDO SUAS EXTENSÕES VERTICAIS E HORIZONTAL, EM METROS.....	30
FIGURA 18 - EXEMPLO DA PRESENÇA DE <i>SPIKES</i> NOS DADOS DE BATIMETRIA. ESSAS IMPERFEIÇÕES DEVEM SER CORRIGIDAS A FIM DE SE TER UMA BOA CARACTERIZAÇÃO BATIMÉTRICA PARA A ÁREA.....	31
FIGURA 19 - VISUALIZAÇÃO DOS VALORES DE PROFUNDIDADE UTILIZANDO-SE A FERRAMENTA <i>SUBSET EDITOR</i> DO PROGRAMA.	32
FIGURA 20 - EQUIPAMENTO <i>BOX CORER</i> EM PREPARAÇÃO PARA SER UTILIZADO PARA COLETAR AMOSTRAS DE FUNDO NA ILHA DE DECEPTION. (FONTE: RELATÓRIO DE CAMPO - OPERANTAR XXXII).	34
FIGURA 21 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETAS DE AMOSTRAS EM <i>BOX CORER</i>	34
FIGURA 22 - INTERVALO GRANULOMÉTRICO PROPOSTO POR (KRUMBEIN & SLOSS (1963)).....	37
FIGURA 23 - MAPA BATIMÉTRICO FINAL GERADO PARA A ENSEADA DA ILHA DE DECEPTION. GERADO UTILIZANDO-SE FERRAMENTAS DO <i>SOFTWARE GEOSOFT OASIS MONTAJ</i>	39
FIGURA 24 - MODELO DIGITAL DE TERRENO FINAL GERADO PARA A ILHA DE DECEPTION.....	40
FIGURA 25 - SUPERFÍCIE BATIMÉTRICA REPRESENTATIVA DA ENSEADA DA ILHA DE DECEPTION.	41
FIGURA 26 - PERFIL 1, WNW-ESE, GERADO PARA CARACTERIZAR PROFUNDIDADES E COMPRIMENTO DA ENSEADA DE DECEPTION.....	43
FIGURA 27 - PERFIL 2, ORIENTAÇÃO N-S, RAVINAS NA BORDA LESTE DA BAÍA DE FOSTER.....	44
FIGURA 28 - PERFIL 3, W-E, CARACTERIZADO COMO UMA DEPRESSÃO NA BAÍA.	45
FIGURA 29 - PERFIL 4, TAMBÉM DE ORIENTAÇÃO W-E, CARACTERIZANDO O CONE VULCÂNICO.	46
FIGURA 30 - MOSAICO FINAL PARA A CARACTERIZAÇÃO DOS VALORES DE INTENSIDADE <i>BACKSCATTER</i> DA REGIÃO.	47
FIGURA 31 - HISTOGRAMA CORRESPONDENTE A CONCENTRAÇÃO DOS VALORES DE INTENSIDADES DO SINAL DE RETORNO, EM <i>DB</i>	48
FIGURA 32 - MODELO DIGITAL DE TERRENO PARA A FEIÇÃO A SER SUBMETIDO.	50
FIGURA 33 - MODELO DE PERFIL PARA A FEIÇÃO A SER SUBMETIDO.	50

Lista de Tabelas

TABELA 1 - LOCALIZAÇÃO EM COORDENADAS DOS PONTOS DE COLETA DE AMOSTRAS <i>BOX CORER</i>	35
TABELA 2 - VALORES MÉDIOS PARA AS CARACTERÍSTICAS DE INTERESSE À CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTAR DA ÁREA.	35
TABELA 3 - DADOS DE GRANULOMETRIA ANALISADOS PELO MULTI-PERFILADOR PARA AS AMOSTRAS COLETADAS NA ILHA DE DECEPTION.	36

Lista de Equações

EQUAÇÃO 1 - CÁLCULO DA IMPEDÂNCIA ACÚSTICA	33
EQUAÇÃO 2 - CÁLCULO PARA A CONVERSÃO DA UNIDADE PARA O TAMANHO MÉDIO DOS GRÃOS.....	35

1. Introdução

A tecnologia de multifeixes foi criada no início dos anos 60 pela marinha norte-americana, com o intuito de se identificar as profundidades. Caracterizando, com isso, o relevo do fundo marinho e elaborando as cartas batimétricas. Porém, apenas nos anos 90 a tecnologia de eco sondas multifeixes começou a se desenvolver mais intensamente com respeito as suas aplicações. O seu sistema consiste basicamente em transmitir e captar sinais acústicos no ambiente, através de um transdutor e, com isso, fazer a medida dos tempos de trânsito dos sinais (USACE, 2001). A partir da medida destes tempos, consegue-se então, determinar a profundidade da área levantada sabendo-se a velocidade de propagação da onda.

Outro dado adquirido através de um arranjo multifeixes é conhecido como retro espalhamento ou *backscatter*, que é a intensidade da reflexão de ondas de volta pela mesma direção de onde vieram. O pulso acústico gerado por um equipamento viaja através da coluna d'água, reflete no fundo marinho e volta ao transdutor onde é convertido de volta em energia elétrica (COLLINS & RHYNAS, 1998).

Um dado bruto de multifeixes contém diversos tipos de incoerências e erros que durante o seu processamento, devem ser eliminados. Durante o levantamento e, após serem feitas todas as correções preliminares necessárias aos dados, a intensidade dos dados *backscatter* é essencialmente uma função das propriedades físicas do fundo marinho, ou seja: impedância acústica, rugosidade (que representa o tamanho dos grãos, e volume heterogêneo, a qual demonstra a variabilidade em uma pequena camada de sedimento penetrada pelo sinal acústico) (HEWITT & SALISBURY & WILSON, 2013).

Segundo PRESTON & BIFFARD (2007), a obtenção de dados do fundo marinho por sistemas multifeixes é mais complicada do que se utilizar um sistema monofeixe, pois esse sistema requer uma maior gama de informações dos dados de materiais e artefatos presentes na região. Um ruído, por exemplo, pode ser filtrado, porém, apenas se essa operação não comprometer o sinal. O sistema é afetado também por influências naturais que não compõem o fundo marinho como, a coluna d'água (profundidade) e inclinações do assoalho marinho. O tempo de duração do retorno do eco aumenta com maiores profundidades e os ecos são alongados e distorcidos onde há inclinações do fundo.

Ultimamente, dados *backscatter* de sistemas multifeixes têm sido utilizados para controle ambiental, como mapeamento de habitat marinho para pesca e por hidrógrafos para

detecção de alvos em águas rasas. Recentemente, tem sido utilizado vastamente na indústria petrolífera para o desenvolvimento das investigações de campos de petróleo (HEWITT & SALISBURY & WILSON, 2013).

2. Objetivos

Esse trabalho teve seu desenvolvimento através de revisão bibliográfica de trabalhos relacionados à batimetria e sinal *backscatter* e tem como objetivo principal a realização de boa caracterização morfológica e sedimentar para a região da enseada da Ilha Deception. Através da utilização de dados batimétricos, reforçando o aspecto prático de conhecimento sobre as etapas envolvidas em um projeto de batimetria por sonar multifeixe.

A continuação deste projeto foi possibilitada através da utilização de três *softwares* de apoio, são eles: *Caris Hips & Sips* versão 9.0 (disponível nos computadores do laboratório de pós-graduação em Geologia e Geofísica Marinha da Universidade Federal Fluminense, utilizado para serem processados os dados fornecidos de batimetria e *backscatter*), *Geosoft Oasis Montaj* (*software* para a geração, visualização e análise de grids e mapas batimétricos, também disponível nos computadores da pós-graduação) e *Fledermaus* (utilizado na elaboração de modelos digitais de terreno e de perfis finais para a área de estudo). Para este último foi utilizada uma licença disponível no Centro de Hidrografia da Marinha.

A caracterização sedimentar, realizada através da análise das respostas de *backscatter* fornecidas após o processamento, se baseou também em dados anteriormente analisados de amostras coletadas em diferentes localidades da área de pesquisa.

Esse trabalho é motivado no fato de que a classificação acústica de fundo oceânico utilizando-se sonares multifeixes é de fundamental importância nos dias de hoje no âmbito de geofísica de engenharia e ambiental, e os investimentos nessa área só tendem a aumentar no futuro próximo.

3. Área de Estudo e sua Geologia

A Ilha de Deception, local de estudo, é utilizada como abrigo em prol da segurança dos navios quando não há condições adequadas de navegação na região, tornando assim extremamente necessária a determinação com precisão das profundidades locais.

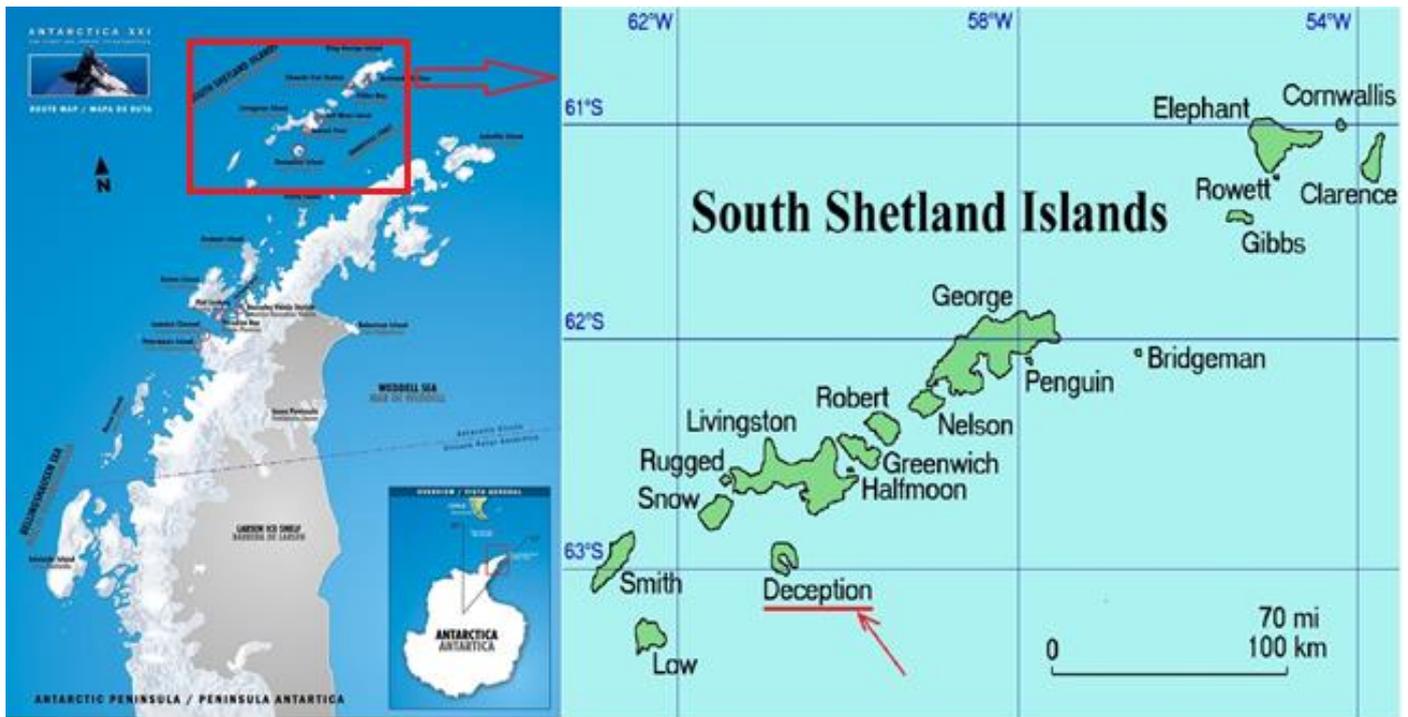


Figura 1 - Localização exata da Ilha de Deception, formando o conjunto das Ilhas Shetland do Sul a noroeste da Península Antártica.

Acredita-se que a configuração geológica encontrada atualmente na Península Antártica é influenciada por diversos processos que vêm ocorrendo durante os últimos 150 Ma e que dizem respeito ao desenvolvimento tectônico da Terra. Desde a quebra do supercontinente Gondwana, formado pela Antártica, Austrália, Índia e pelo continente Sul-Americano e Africano, até os acontecimentos mais recentes como a abertura da Passagem de Drake, em aproximadamente 40 e 17 Ma (MAGRANI, 2011).

A subducção da Placa do Pacífico sob a Placa Antártica originou um extensivo arco magmático, cujos remanescentes formam o que hoje constitui a Península Antártica (FRANCIS & PIRRIE & CRAME, 2006). A Placa Antártica está limitada quase em sua totalidade por dorsais oceânicas e falhas transformantes associadas e seu contato com a

Placa Sul-Americana é complexo, onde, entre ambas, se insere a Placa de Scotia (ALDAYA & MALDONADO, 1995).

GALINDO-ZALDIVAR (2006) indica que a geologia para a região da Península Antártica apresenta um desenvolvimento complexo e seria determinada hoje pela movimentação e rotação de algumas micro-placas que constituem os blocos dessa península. O Arquipélago das Shetland do Sul é formado por ilhas constituídas de rochas vulcânicas com características oceânicas como é o caso da Ilha de Deception (SOUZA, 2011).

Deception é a ilha mais ativa que compõe esse arco de ilhas vulcânicas e que se encontra sobre o Estreito de Bransfield, sendo formada durante o tardio Mesozóico-Cenozóico (MARTÍ & GEYER & AGUIRRE-DIAZ, 2013). A Bacia de Bransfield, com 500 km de comprimento e uma largura de até 100 km, é considerada uma bacia de retro arco (*back-arc*) desenvolvida desde o Plioceno e associada com a subducção da antiga Placa de Phoenix sob o Arquipélago das Shetland do Sul (DALZIEL, 1984 *Apud* FERREIRA et al, 2014).

Segundo GAMBOA & BARROCAS & MALDONADO (1988), sobre a margem sul, adjacente à Península Antártica, o seu desenvolvimento se deu de maneira semelhante a uma margem continental passiva, tanto em termos de estruturas como em termos de sequências estratigráficas. Além disso, essa região de crosta oceânica é caracterizada pela existência de um pacote sedimentar formado por camadas plano-paralelas e por um fundo submarino plano, área essa que seria representativa do eixo de separação entre o Arquipélago das Shetland do Sul e a Península Antártica (MAGRANI, 2011) (SOUZA, 2011).

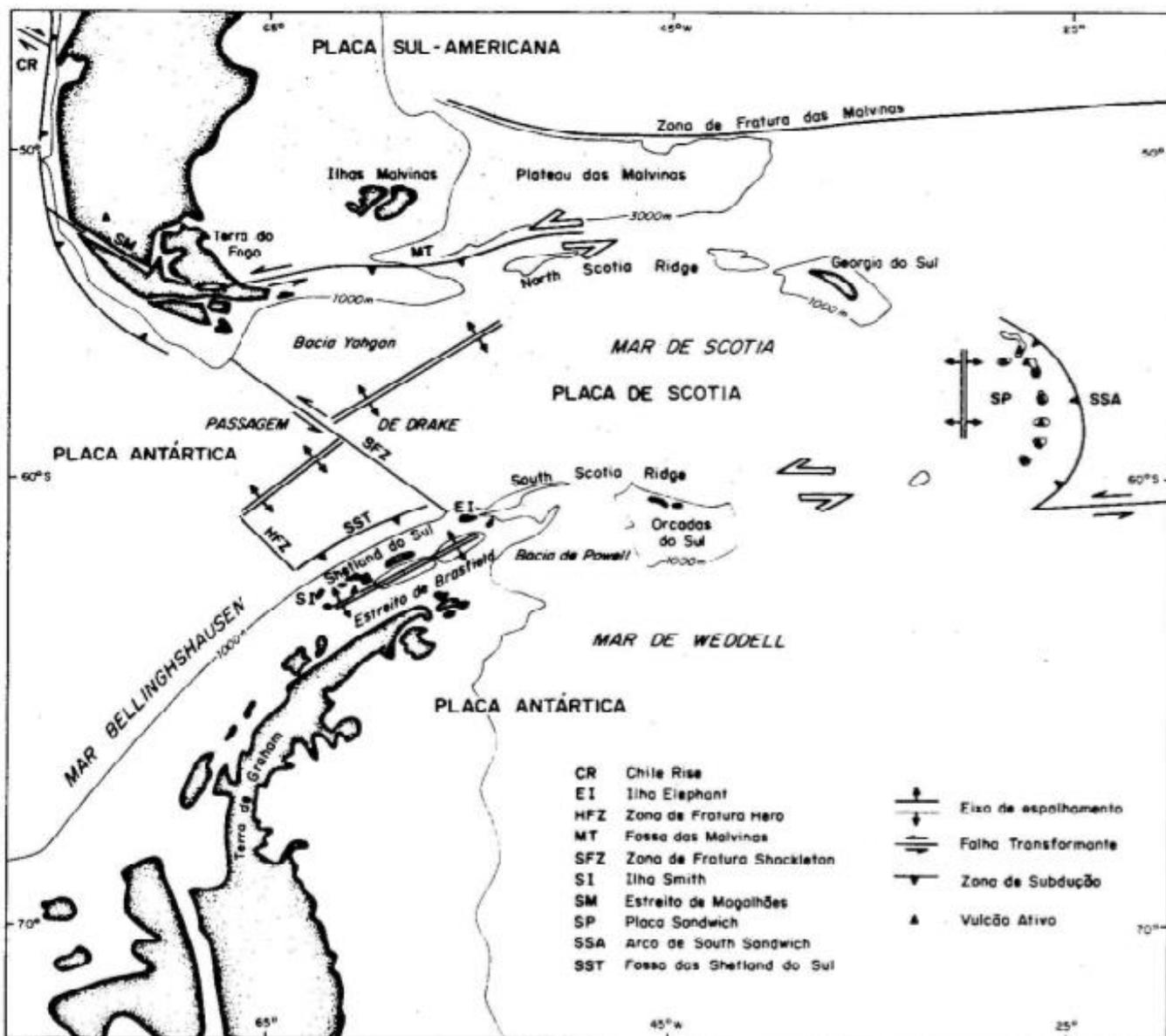


Figura 2 - Elementos tectônicos e principais limites das placas litosféricas, entre a América do Sul e a Península Antártica. Baseado em Dalziel (1983), modificado de Gamboa (1988).

Segundo SHULTZ (1970), a ilha de Deception é um grande composto vulcânico, a qual possui uma única e grande abertura central na região conhecida como Baía Foster. A ilha é composta predominantemente por piroclástos, com poucas quantidades de lavas de alta viscosidade, e é em grande parte coberta por gelo glacial ou material fluvioglacial. HAWKES (1961) subdividiu a formação da ilha em séries pré-caldeira e pós-caldeira, cada uma consistindo de diversas formações. Suas correlações foram feitas com base em seqüências estratigráficas e similaridades geomórficas e petrográficas.

A ilha de Deception tem sido tradicionalmente considerada como uma caldeira colapsada formada por subsidência em uma câmara magmática, e suas feições morfológicas como seu formato e a existência de uma depressão no centro da ilha apoiam tal ideia (MARTÍ & VILA & REY, 1996).

4. Sistema Multifeixe

Sonares multifeixes nos fornecem indiretamente medidas de profundidade e *backscatter* acústico sobre uma larga área do fundo marinho e assim, oferece uma ferramenta promissora para a caracterização do assoalho marinho (FONSECA & MAYER, 2007).

A Figura 3 abaixo apresenta o arranjo geométrico e funcionamento de um sistema multifeixe. Os feixes mais ao centro possuem uma menor inclinação com a normal relativa ao navio, apresentando uma maior precisão em seus dados e abrangem uma área menor. Os feixes mais abertos abrangem uma área maior, porém com sinais de menor qualidade.

Isso se dá devido ao ângulo de inclinação com a normal, pois quanto maior essa inclinação, o sinal necessita de um tempo maior para voltar ao transdutor e assim caracterizando uma ilustração diferente da sua realidade. Isso ocorre, pois o equipamento não mede a profundidade em si da região estudada, ele mede os tempos de trânsito do sinal emitido.

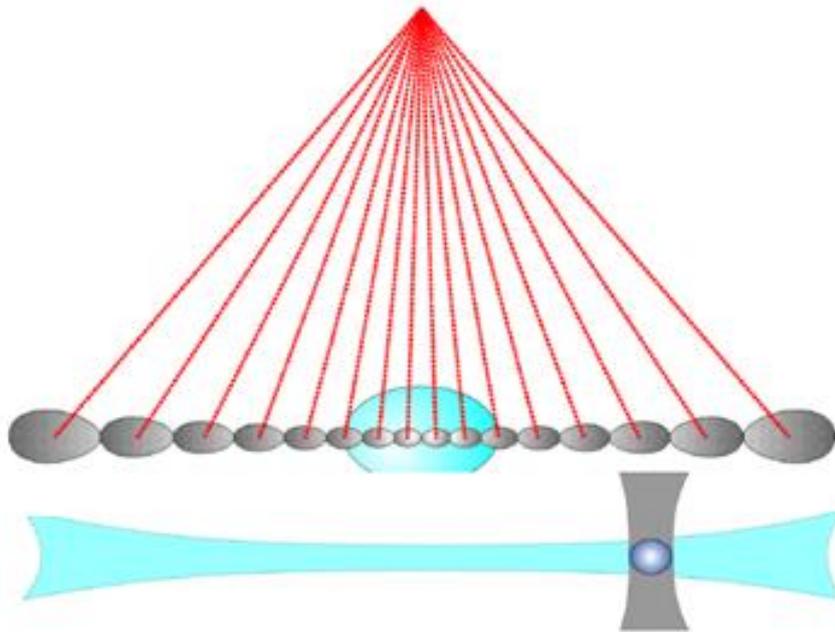


Figura 3 - Geometria dos feixes para um equipamento multifeixes. Modificado de USACE (2001).

A área delimitada, mostrada em círculo azul escuro, representa a região de maior confiabilidade, por resultar em dados dos feixes que se encontram mais ao centro, e a área

em cinza a região analisada por todos os feixes, os feixes de maior inclinação, nas extremidades, representam os dados mais incoerentes.

Segundo FONSECA & MAYER (2007), a frente de onda de um típico sonar multifeixe por quase sempre interceptar o fundo marinho em um ângulo, é sujeita ao espalhamento, que redistribui a energia acústica incidente em múltiplas direções. Os aspectos quantitativos de um *backscatter* acústico podem ser afetados por absorção da energia acústica na coluna d'água, inclinação do fundo marinho e pelo posicionamento de cada feixe acústico no fundo marinho. A natureza da energia retornada para o transdutor carrega informações importantes sobre a morfologia do fundo marinho e suas propriedades físicas, fornecendo dados valiosos para a solução de difíceis questões de caracterização do fundo marinho (DE MOUSTIER & MATSUMOTO 1993, HUGHES-CLARK et al. 1997 *Apud* FONSECA & MAYER, 2007).

HEWITT & SALISBURY & WILSON (2013) sugeriu também que o registro de dados *backscatter* seja baseado na interseção do feixe com o perfil digital do fundo marinho, e, portanto, o valor do *backscatter* seria registrado na profundidade correta mesmo em um terreno irregular.

5. Classificação Acústica

A classificação de superfícies submersas a partir de dados de sonares multifeixes, é uma ferramenta que permite a visualização do fundo oceânico em diferentes escalas de cores, representando cada uma delas diferentes informações a respeito do material e topografia deste fundo, permitindo a construção de modelos de terreno com as diferentes classes representadas (BULLA & HARTMANN, 2009).

O retro espalhamento acústico (*backscatter*) do fundo oceânico é determinado pelo coeficiente de reflexão, que por sua vez é função da impedância acústica do meio (água) e do refletor, nesse caso o fundo (MACLENNAN & SIMMONDS, 2005). O sinal *backscatter* é influenciado por diferentes características, sendo elas de fundo tais como irregularidades e propriedades físicas e químicas, ou também formas sedimentares como marcas de ondulação, a textura das rochas e até fauna (PINHO & MADUREIRA & CALLIARI, 2011).

Ao se utilizar a intensidade do sinal de retorno para classificação de fundo, devemos realizar análises de diferentes características presentes junto ao *backscatter*, são elas: análise textural (que a partir de informações que constituem o mosaico de sinal *backscatter*, fornece características de diferentes parâmetros como energia, entropia, contrastes e homogeneidade); análise da função densidade da probabilidade (que descreve a relação sinal/ruído do sinal de retorno e, a partir dos valores relativos para desvios padrão, caracteriza a rugosidade do fundo oceânico. Quanto maior o desvio padrão, menos rugoso é o fundo); análise do espectro de energia (utiliza o método da transformada de Fourier em conjunto com certos valores para as intensidades do sinal *backscatter* e, por se estabelecer esta relação, representa certas variações na topografia e no tipo de fundo) e análise angular (que determina que o ângulo de incidência das ondas no fundo oceânico influencia nos valores das respostas de intensidades *backscatter*, podendo dificultar a caracterização sedimentar) (CONCEIÇÃO, 2009).

A Figura 4 apresenta um modelo para um exemplo de análise angular do tamanho do grão relacionado a sua resposta de intensidade de sinal de retorno.

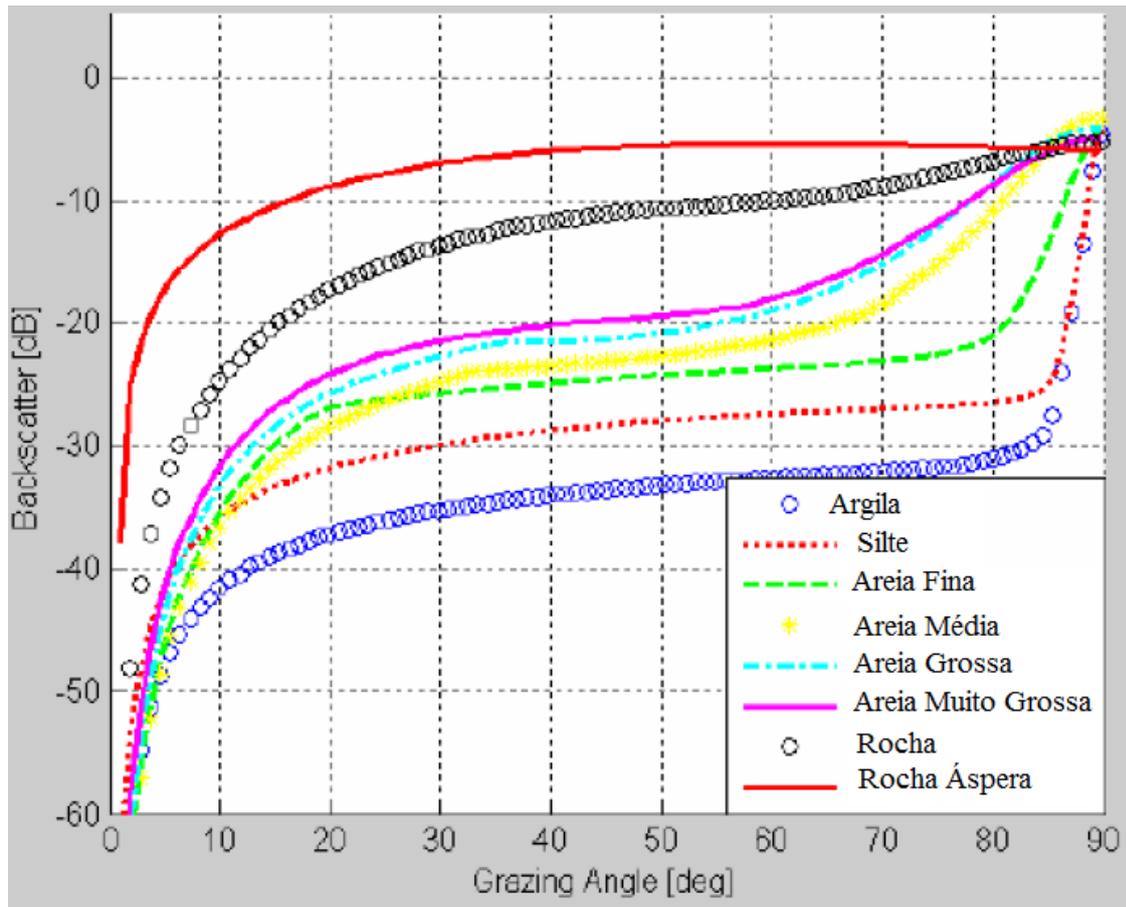


Figura 4 - Relação entre a intensidade do sinal e a variação angular. Note que cada tipo de fundo se comporta de maneira diferente com a variação angular. (UNB Training Course, 2005).

6. Características Importantes do Sonar

Algumas considerações importantes a respeito do sonar devem ser analisadas, frequência, duração do pulso, energia transmitida e o tipo de transdutor são algumas delas. Segundo COLLINS & RHYNAS (1998), as características do pulso acústico irão influenciar diretamente nas informações carregadas do fundo marinho. Ecos são somatórios de interface e volume *backscatter* em proporções que dependem da frequência do sonar e composição do fundo marinho (PRESTON, 2006).

Os dados utilizados para o desenvolvimento deste trabalho são provenientes de um equipamento elaborado pela empresa *Kongsberg Maritime AS*, modelo SIMRAD EM-302 30 kHz. Segundo especificações do fornecedor, este transdutor é capaz de fornecer dados de alta resolução e precisão para profundidades que variam de 10 até 7000 metros, realizar até 864 sondagens por *ping*, possui um design modular com larguras de feixes variando na faixa de 0.5 a 4 graus e é equipado com uma função que permite reduzir a quantidade de energia transmitida com o intuito de evitar a degradação da fauna presente no local onde ocorrem os levantamentos.

6.1. O Transdutor

Primeiramente, é de fundamental importância a escolha do tipo de equipamento, transdutor, que será utilizado no levantamento, pois ele é o responsável pela criação do sinal e seu respectivo formato. A forma do sinal acústico, o espalhamento cônico e largura do feixe são influenciados pelo design e os materiais usados na construção do transdutor (COLLINS & RHYNAS, 1998). A pegada de um levantamento está diretamente relacionada à largura do feixe desde a emissão do sinal.

A Figura 5 a seguir apresenta o grau de precisão de uma pegada. Segundo COLLINS & RHYNAS (1998), larguras de feixe na faixa de 5 a 15 graus de abertura apresentam melhores precisões para a coleta de dados.

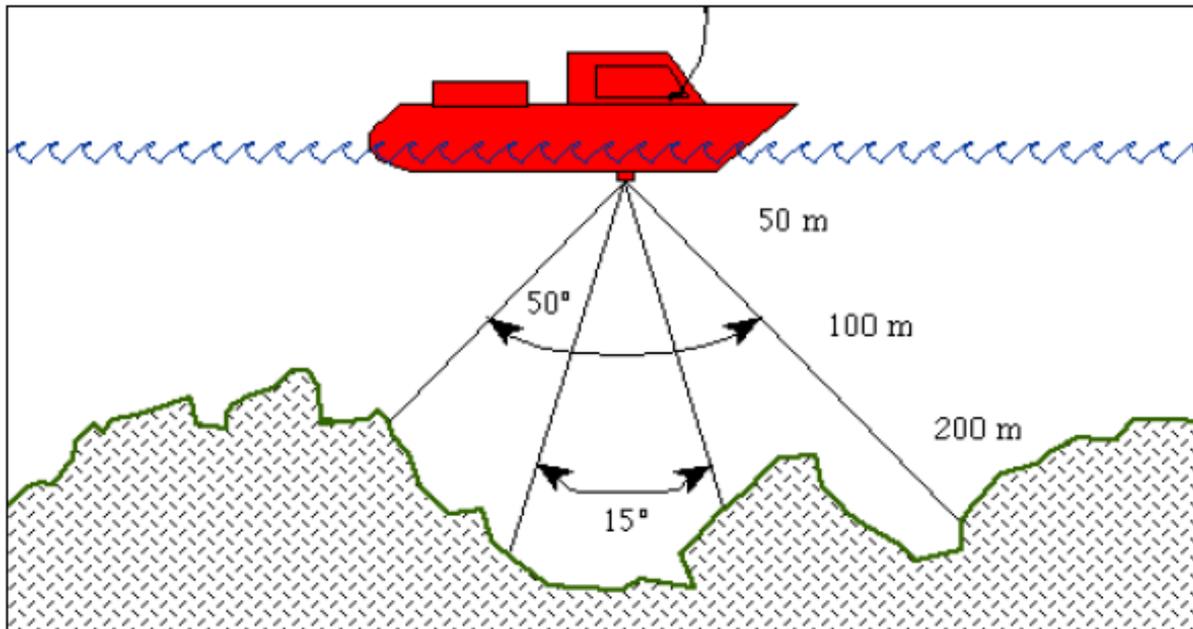


Figura 5 - Largura do feixe (Collins e Rhynas, 1998).

A montagem do transdutor no navio é muito importante para a realização de pesquisas. Há diversas maneiras de se montar um transdutor a um navio e cada método possui suas vantagens e desvantagens. A maneira mais comum é a de se montar o transdutor conectado diretamente ao casco do navio. Nessa configuração o transdutor está livre de movimentação e cavitação. Outra opção de montagem do transdutor é conhecida como montagem *Over-the-side*, que permite ao responsável pelo levantamento implantar e retrainr uma variedade de diferentes transdutores em diversos locais da embarcação e facilita a manutenção e armazenamento do mesmo (COLLINS & RHYNAS, 1998).

6.2. A Duração do Pulso

Outro fator importante é a duração do pulso, que consiste basicamente no tempo que o sonar transmite energia para o transdutor. É diretamente proporcional à quantidade de energia acústica propagada na água. Um pulso de muito pequena duração (menor que 200 microssegundos) não libera muita energia ao fundo marinho e, portanto, não é provável de conter muita informação útil a respeito de classificação sedimentar do mesmo, assim como faz um pulso de alta duração (500 microssegundos). Contudo, um pulso de alta duração em águas rasas, profundidades menores que 2 metros, resultará em mistura do sinal de retorno com o sinal transmitido e subsequente reverberação do transdutor (COLLINS & RHYNAS,

1998). Segundo PRESTON & BIFFARD (2007), a coluna d'água e inclinações do fundo marinho alongam a duração de um eco.

6.3. Quantidade de Energia Transmitida

O monitoramento da quantidade de energia transmitida também deve ser feito. A escolha de uma boa configuração para a sonda pode prevenir a perda de força do sinal, garantindo assim, a realização de uma melhor classificação sedimentar. Muitos dos sonares apresentam um modo (conhecido como Controle de Ganho Automático) que controla a energia transmitida pelo sonar e, em muitos casos, monitora também a duração do pulso (COLLINS & RHYNAS, 1998). Visando uma melhor caracterização sedimentar do fundo marinho, é aconselhado que o equipamento esteja com esse modo desativado.

6.4. Repetição do Sinal

Segundo COLLINS & RHYNAS (1998), a taxa de repetição (*ping-rate*) do sinal é mais um dos fatores a serem levados em conta, já que podem variar durante uma aquisição e afetar a classificação acústica da área desejada. Contudo, uma rápida taxa de repetição de sinal para baixas velocidades do navio pode criar dados redundantes que resultam no aumento do volume de dados. Por outro lado, uma taxa menor de repetição, combinada com altas velocidades do navio pode criar *gaps* na área de cobertura da aquisição, ou seja, áreas onde haverá ausência de informação. Em águas profundas, uma rápida taxa de repetição pode também causar colisões das repetições do sinal, apresentando, com isso, dados inválidos.

6.5. Ruídos

Outro fator a ser considerado é o estudo dos ruídos que interferem e prejudicam direta ou indiretamente no sinal acústico gerado pelo transdutor. Ruídos os quais podem ser naturais, antrópicos ou eletrônicos.

Segundo COLLINS & RHYNAS (1998), navios são tipicamente ambientes muito barulhentos, sinais transientes (curto período de tempo) podem reduzir a relação sinal/ruído para o ponto onde o sistema vê apenas ruído, o reconhecimento de ruídos pode ser

complicado, mas com o uso de um osciloscópio ou um visualizador de onda inicial pode-se entender e eliminar potenciais fontes de ruídos.

7. Pré-Levantamento

A realização de um levantamento batimétrico pode ser muito mais complexo do que se imagina caso não sejam tomados os cuidados necessários. Os dados devem apresentar uma boa qualidade, para que não ocorram problemas indesejáveis. Por isso, é de extrema importância realizar testes de controle de qualidade e calibração para se garantir que tenha um bom resultado nos dados que serão futuramente processados.

O *Patch Test*, como conhecido, é uma das verificações que devem ser feitas antes do levantamento para se controlar a qualidade dos dados. Ele possibilita analisar os movimentos de arfagem (*Pitch*), jogo (*Roll*), guinada (*Yaw*) e afundamento (*Heave*) realizados pelo navio em mar aberto, além da análise para o tempo de chegada dos dados (*Latency*). A Figura 6 retrata os movimentos de jogo, arfagem e guinada de uma embarcação (USACE, 2001).

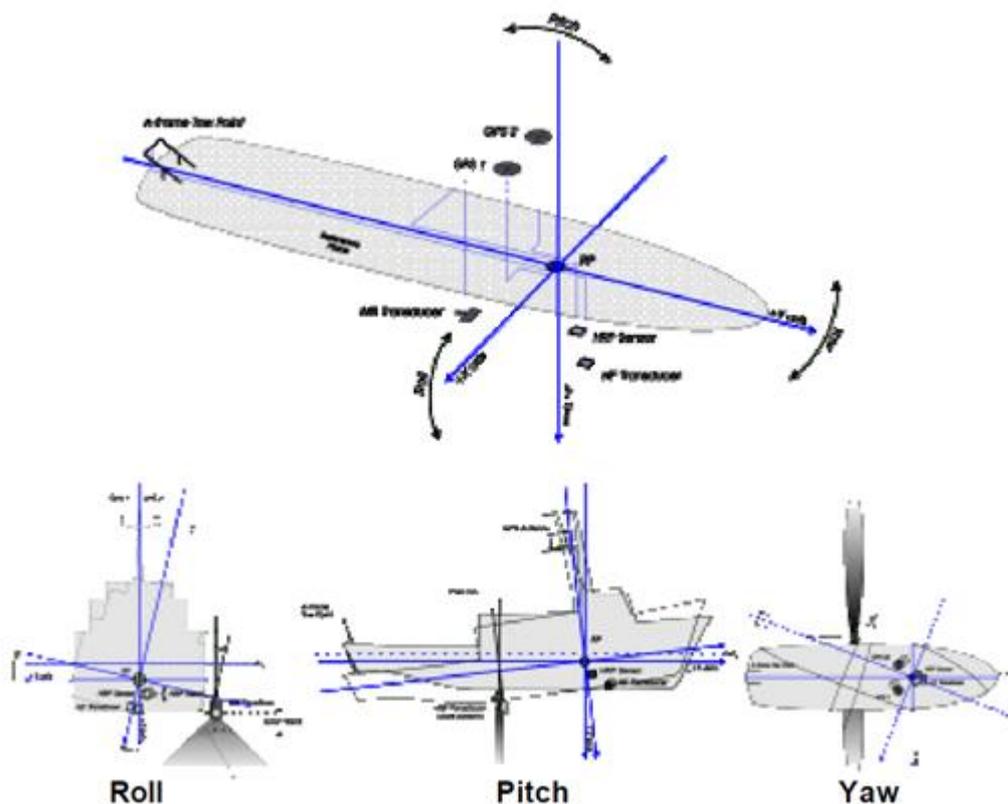


Figura 6 – Movimentos realizados por um navio que influenciam os dados batimétricos quando em oceano.

7.1. Jogo (*Roll*)

Para se verificar e corrigir o movimento de *Roll*, que faz com que apareça uma inclinação em determinada área onde tende a ser plana, deve-se passar com o navio duas vezes na região, se deslocando em sentidos opostos e mesma velocidade, para imagear o local e perceber a inclinação, Figura 7.a.

7.2. Latency

Analisa-se o tempo de atraso da chegada dos dados para diferentes velocidades do navio se deslocando em um mesmo sentido, sobre uma dada região onde se apresenta passagem de fundo marinho plano para com inclinação. Esse atraso no tempo de trânsito do sinal irá representar valores incorretos de profundidade para maior ou menor distância relativa ao fundo, Figura 7.b.

7.3. Arfagem (*Pitch*)

Desloca-se o navio em uma região que apresente uma área plana e com inclinação, em sentidos diferentes e com velocidades iguais. O erro para esse movimento fará com que a passagem de fundo plano para inclinado esteja representada em diferentes localidades, Figura 7.c.

7.4. Guinada (*Yaw*)

O deslocamento do navio para se verificar o movimento rotacional de *Yaw*, ocorre em uma região que apresente uma área plana, com inclinação e a presença de uma feição de um monte ou objeto, em sentidos diferentes e com velocidades iguais do navio, Figura 7.d.

7.5. Afundamento (*Heave*)

Outro movimento conhecido da embarcação para o qual deve se realizar a sua correção é o *Heave*, que caracteriza o deslocamento vertical do navio em relação à superfície do oceano, pelo aumento ou diminuição da quantidade de camada d'água abaixo do navio.

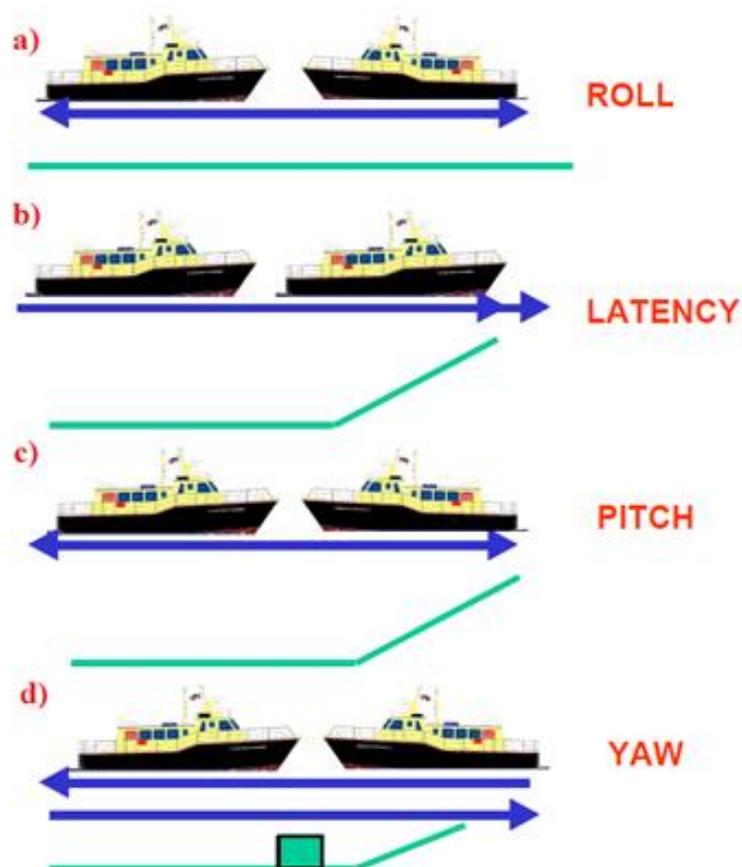


Figura 7 - Configuração dos trabalhos a serem feitos visando à correção necessária para os movimentos do navio e atrasos no tempo de trânsito dos dados. Movimentos: a) *Roll* b) correção de tempo *Latency* c) *Pitch* d) *Yaw*. As linhas em verde representam o fundo marinho. Modificado de USACE (2001).

Verificar a antena de GPS (*Global Positioning System*) para o posicionamento do navio e suas coordenadas nos pontos onde houver coleta de dados é outro requisito que deve ser conferido antes e durante a realização do levantamento. Segundo COLLINS & RHYNAS (1998), é necessário ter cada gravação de informação georreferenciada e o DGPS (*Differential Global Positioning System*) é o melhor método para se alcançar um alto grau de acurácia no posicionamento com um custo razoável.

O sensor de movimentos, presente no Navio Polar Almirante Maximiano, utilizado para a realização do *Patch Test* e durante a sondagem, é o *Seatex Seapath 200*. O equipamento fornece as informações de deslocamento da embarcação já citadas acima. O posicionamento durante o levantamento foi feito com GPS (absoluto). As informações de sensores e equipamentos utilizados foram obtidas junto ao relatório de aquisição dos dados.

8. Metodologia

Os dados batimétricos coletados e utilizados são oriundos de uma comissão conhecida como Operação Antártica ou OPERANTAR XXXII, realizada pelo Navio Polar Almirante Maximiano (Figura 8), pertencente à Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil. Esses dados fazem parte do projeto INCT-Criosfera, PROANTAR/CNPQ número 407598/2013-8, intitulado de **MONITORAMENTO DAS GELEIRAS E IMPACTOS DA DEGLACIAÇÃO SOBRE O AMBIENTE GLACIOMARINHO, BAÍA DO ALMIRANTADO – ILHA REI GEORGE**. O levantamento foi realizado no período de 06 de outubro de 2013 a 22 de abril de 2014, na região conhecida como Ilha Deception, uma ilha vulcânica ativa localizada à noroeste da Península Antártica, que faz parte do conjunto de ilhas conhecidas como Arquipélago das Shetland do Sul.



Figura 8 - Navio Polar Almirante Maximiano que realizou o levantamento cujos dados coletados foram utilizados neste trabalho (Fonte: Marinha do Brasil).

8.1.A Aquisição de Dados

Após a realização dos testes recomendados, inicia-se a aquisição de dados. O levantamento usando um equipamento multifeixe tem uma determinada configuração. A área deverá ser planejada em um formato de malha, com linhas longitudinais e transversais (linhas de controle). Esse procedimento é executado para assegurar que tanto o processamento quanto a aquisição foram realizados corretamente, pois duas medidas no mesmo ponto devem ser iguais no final do processo. Porém, apesar de todos os controles de qualidade dos dados, é difícil ter 100% dos dados batimétricos caracterizando perfeitamente o fundo marinho estudado em questão.

O ecobatímetro multifeixes *Kongsberg SIMRAD EM-302* utiliza frequências na faixa de 30 kHz, é acoplado ao casco da embarcação e emite de 288 ou 566 feixes, dependendo da intenção final do levantamento. Para este projeto utilizou-se a faixa de 288 feixes.

A frequência utilizada por este equipamento, o SIMRAD EM-302, está em uma faixa adequada para a finalidade do projeto, pois libera uma quantidade significativa de energia no meio, possibilitando assim a coleta de uma boa gama de informação. Especificações detalhadas a respeito do equipamento são de fundamental importância durante a fase de processamento dos dados, pois cada atributo pode influenciar no produto final gerado como o tamanho da área levantada, em relação à quantidade de feixes e, assim, demandando mais ou menos tempo de processamento.

8.2.Processamento de Dados

Após a realização de qualquer levantamento batimétrico é necessário realizar o processamento dos dados coletados em campo com a utilização de métodos de filtragem e correção, a fim de se possuir informações verídicas da morfologia e sedimentação da área estudada. Uma das correções, por exemplo, que se deve aplicar à um dado de multifeixes ao receber o dado bruto pós-levantamento é a correção de maré. Esse processo visa retirar a influência da maré que pode gerar grandes discrepâncias nos valores de profundidade para determinada região.

Outras correções a serem feitas estão relacionadas ao posicionamento do navio, sua localização em coordenadas, ao espalhamento esférico do sinal e também sua absorção pelo fundo marinho. Essa verificação e correção são necessárias, pois, como já foi dito, apesar de

todo o cuidado tomado antes do levantamento, imprevistos durante a aquisição podem ocorrer e assim os dados não se apresentam 100% corretos ao processamento.

Implementar a correção para os valores das velocidades das ondas sonoras na coluna d'água, nos dados coletados durante a aquisição, é um procedimento muito importante nesta etapa de processamento de dados. Segundo PRESTON (2006), se este processo não for realizado, artefatos indesejados e não-reais, ligados às mudanças de profundidades, estarão presentes no mapa final gerado.

Dados corretamente processados aumentam o grau de confiabilidade nas interpretações das feições do fundo marinho, oferecendo assim uma melhora na base de dados para a implementação de técnicas automáticas de mapeamento, que podem potencialmente produzir mapas mais detalhados em menos tempo. Os esforços para se ter sempre um melhor mapeamento de uma região são de fundamental importância para avaliação de engenharia e outros tipos de investigação do fundo marinho (HEWITT & SALISBURY & WILSON, 2013).

Um modelo final gerado após a etapa de processamento para uma área levantada, representando em cores as diferentes profundidades, é conhecido como modelo digital de terreno ou DTM (sigla em inglês para *Digital Terrain Model*).

8.3. Processamento dos Dados Coletados na Ilha de Deception

8.3.1. Processamento de Batimetria em *Caris Hips & Sips* 9.0

Como já citado anteriormente, foi utilizado o *software Caris HIPS & SIPS* versão 9.0, para a realização do processamento dos dados batimétricos e *backscatter* da Ilha de Deception. Os dados utilizados para este projeto foram entregues pré-processados em uma versão mais antiga do mesmo *software*, versão 7.1. Com isso, os primeiros passos do processamento não apresentaram tantos percalços e o carregamento de *offsets* e as características da embarcação puderam ser ignoradas nesta primeira fase do processamento, zerando assim seus valores dentro do *software*.

A Figura 9 a seguir apresenta a interface inicial do programa *Caris Hips & Sips* ao serem carregados os dados pré-processados. É possível visualizar as linhas de navegação (em amarelo) que foram levantadas para o projeto em questão. Exportando-se as linhas em extensão “.dxf”, foi possível plotá-las (linhas em vermelho) sobre a carta náutica (INT 9120)

para a região da Ilha de Deception e assim, temos uma melhor visualização quanto as linhas de coletas de dados batimétricos realizadas na enseada da ilha vulcânica de Deception.

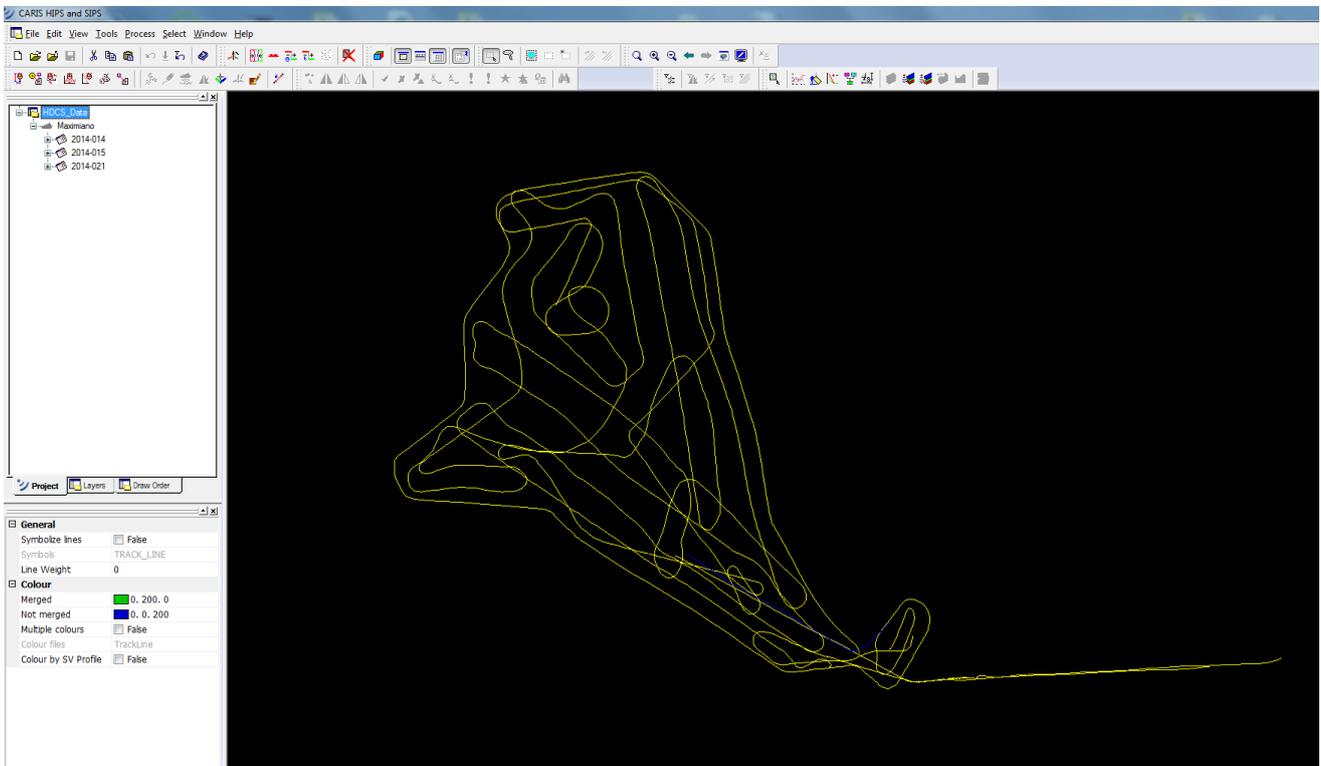


Figura 9 - Interface inicial do software *Caris Hips & Sips* 9.0 ao serem carregados os dados do projeto, onde é possível visualizar as linhas batimétricas no *display* do programa.

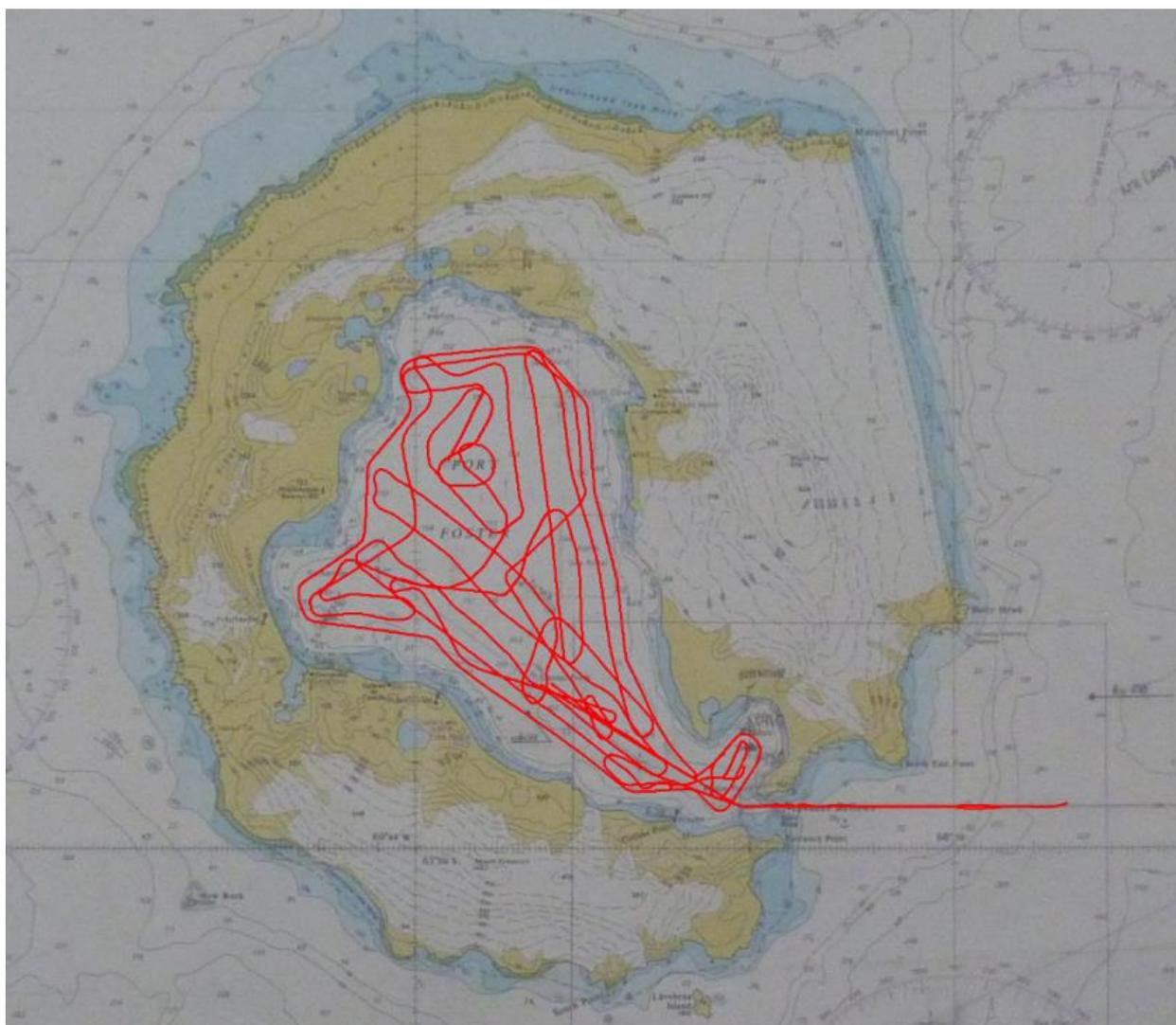


Figura 10 – Linhas representando a navegação e consequente coleta de dados batimétricos na enseada da Ilha de Deception.

Tendo gerado um arquivo para a embarcação, quando são aplicados os *offsets* dos equipamentos e importados os dados para cada linha levantada, realiza-se o primeiro passo do que se pode considerar como processamento dos dados. Utilizando uma ferramenta conhecida como *Swath Editor*, analisa-se cada linha separadamente, a fim de se excluir possíveis incoerências nos valores de profundidades, conhecidos como *spikes*, representados para cada faixa de feixes gerada pelo equipamento. Os feixes são gerados a partir da normal (ao centro do sonar multifeixes) para os lados do equipamento.

É possível analisar cada faixa de feixes separadamente e, conseqüentemente, o perfil de fundo para cada linha de feixes gerada. Ao se analisarem as duas faixas juntas ou não

utilizar o perfil de fundo, valores errôneos de profundidade podem passar despercebidos pelo usuário do programa.

Pela Figura 11, pode-se entender como é dada a visualização desses dados espúrios (*spikes*) pela ferramenta de processamento. A análise do perfil de fundo em conjunto com os feixes demanda mais tempo do usuário para concluir esse passo do processamento dos dados, mas melhora o entendimento do mesmo e facilita a eliminação de tais erros, que podem ser descartados diretamente pela utilização da janela representativa do perfil de fundo da área.

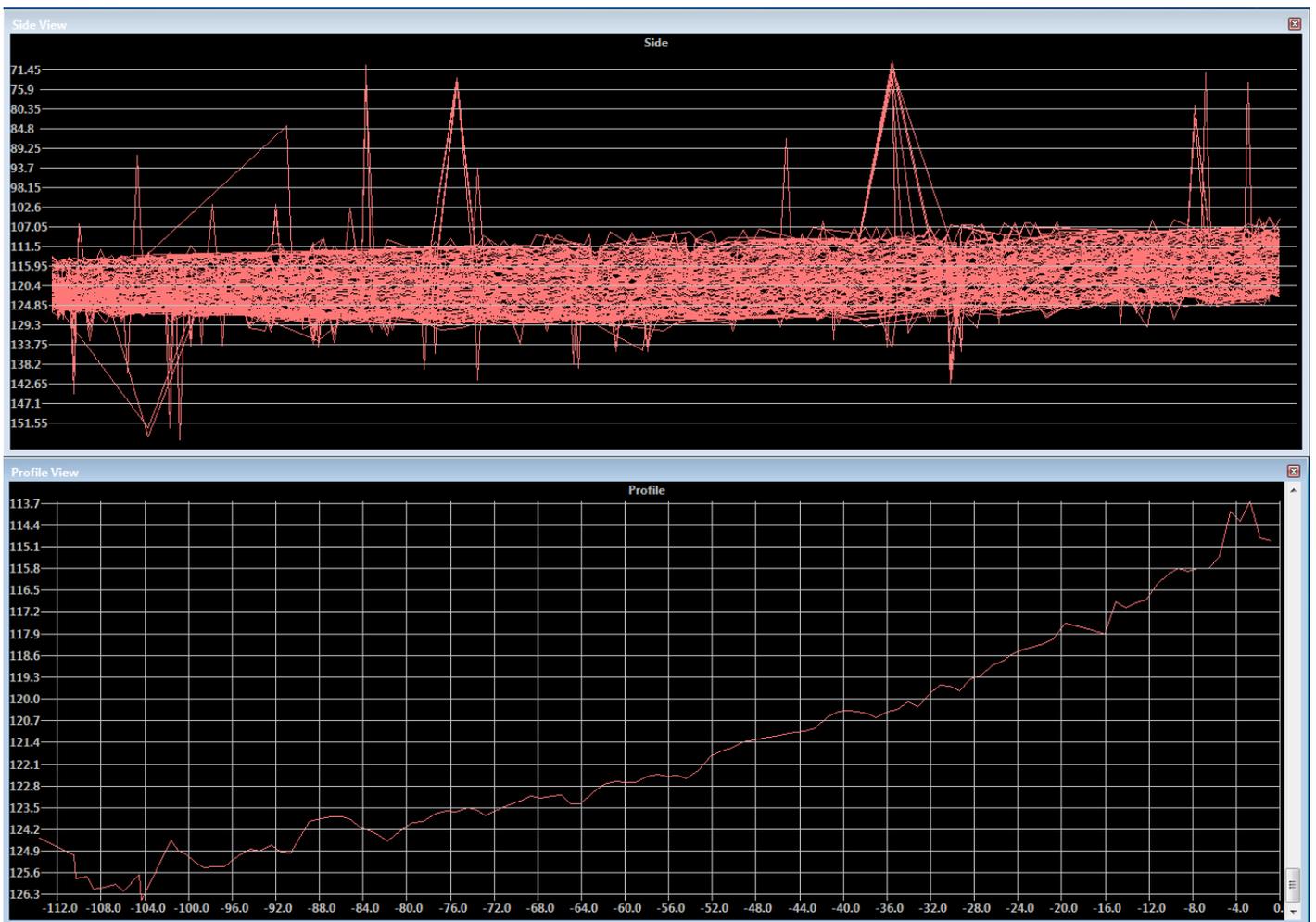


Figura 11 - Análise de *spikes*, para um dos lados de tal etapa do levantamento, lado representado pela cor rosa, acima o perfil dos feixes vistos via *Side View*, e abaixo, o respectivo perfil de fundo para uma dada faixa dos feixes.

Após a análise e limpeza completa de um determinado volume de dados a ferramenta *Side View* permite ver os *spikes* deletados pelo usuário, representados pelas linhas em cinza na Figura 12. Cada valor presente nas faixas de feixes representa valores pontuais de

profundidade, mas optou-se por representá-los como linhas para facilitar a visualização e posterior exclusão das incoerências.

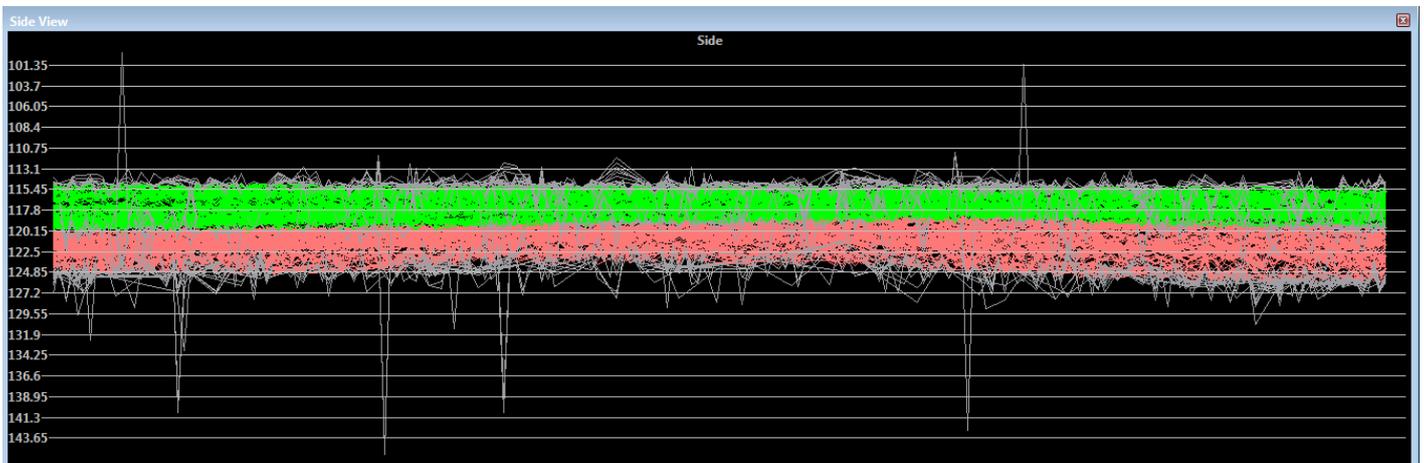


Figura 12 - Imagem que mostra as duas faixas de feixes geradas pelo ecobatímetro após a limpeza de *spikes* para dada área da linha analisada.

Para o completo processamento dos dados esse passo deve ser repetido para todas as linhas do levantamento. Essa etapa do processamento utilizando o *Caris Hips & Sips* deve ser feita de maneira manual e dependendo do volume de dados pode levar de horas a dias para se concluir. Para este trabalho, foi utilizado um total de 28 linhas e essa parte do processamento foi concluída em 3 dias.

A ferramenta *Attitude Editor*, em conjunto com a *Swath Editor*, é utilizada para se analisar os movimentos realizados pela embarcação durante o levantamento, os já conhecidos movimentos de jogo, arfagem, afundamento e guinada. Como a área levantada é uma região em formato de baía ou enseada e praticamente fechada para o mar aberto, não há grandes flutuações (ondas), em seu interior, com isso, os perfis que representam os movimentos do navio devem apresentar pequenas variações em seus valores.

Constataram-se apenas maiores variações para esses movimentos da embarcação nas linhas mais próximas a entrada da baía. A Figura 13 apresenta as variações para esses movimentos em uma linha nas proximidades da entrada da Baía de Foster, onde, para o jogo do navio há uma variação máxima de 4 graus de amplitude, arfagem varia de até 2 graus de amplitude, o afundamento apresenta uma variação de aproximadamente 1.5 metro e a *Gyro* (guinada) nos fornece uma pequena variação de aproximadamente 20 graus, entre 90 e 70 graus no gráfico gerado, que infere uma leve rotação do navio alterando assim seu curso.

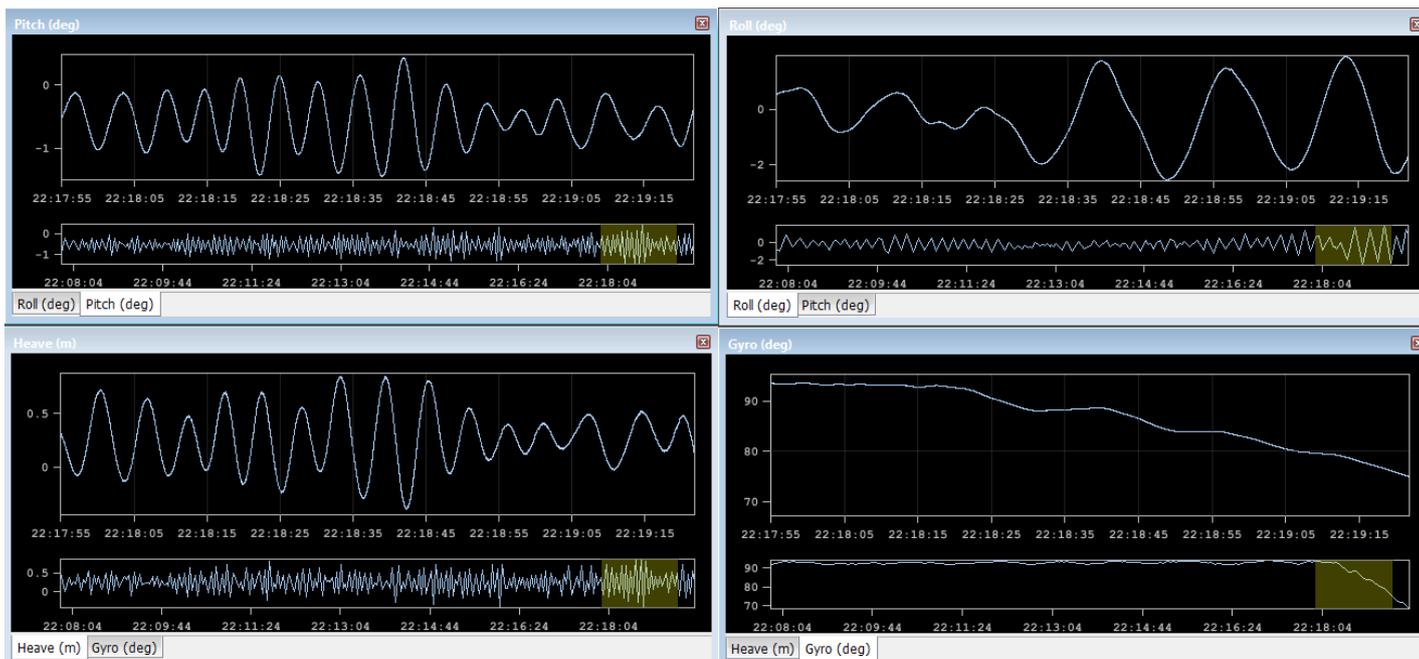


Figura 13 - Variações adquiridas pelo sensor de movimento em uma linha de aquisição realizada na entrada da enseada.

A fim de se comparar e compreender essas diferenças, a Figura 14 apresenta as variações de jogo, arfagem, afundamento e guinada para uma linha que se encontra no interior da enseada da ilha vulcânica de Deception. O gráfico da guinada aparece constante por um bom período de tempo, cerca de 20 minutos de levantamento, e há uma grande variação caindo seu valor de 125 graus para abaixo de 50 graus, isso indica apenas que a embarcação, neste curto período de tempo, realizou uma forte manobra, alterando assim o seu curso original e passando a coletar dados em outra direção. As variações nos gráficos para o afundamento e arfagem apresentam valores insignificantes e inferiores a 0.1 metros e graus, respectivamente. A captação do movimento de jogo pelo sensor teve uma variação um pouco maior, apresentando valores de até 0.5 graus de discrepância. Mas apesar disso, a influência dessas flutuações para a embarcação é praticamente nula.

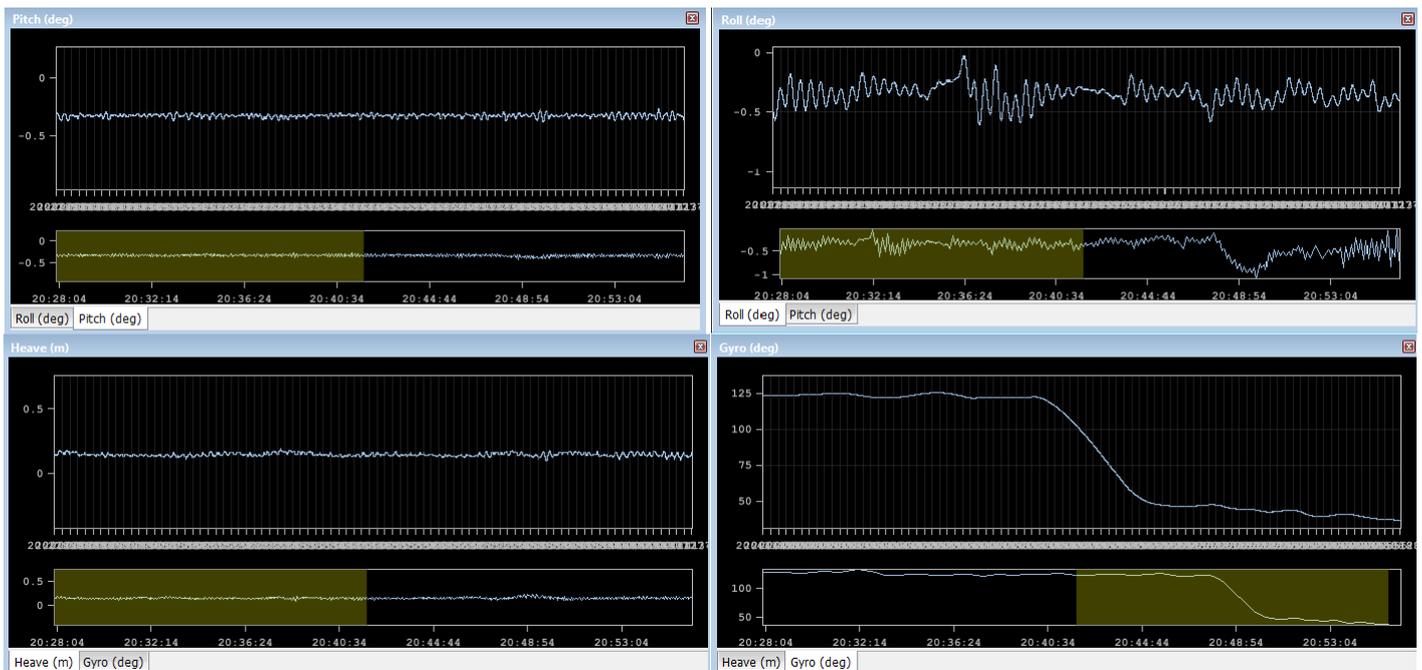


Figura 14 - Variações adquiridas pelo sensor de movimento em uma linha de aquisição realizada no interior da enseada.

Seguindo então o fluxo do processamento, após essa limpeza inicial dos *spikes*, é necessário adicionar a variação de maré e a correção da velocidade do som para a área. Porém, devido às condições da área de estudo, utiliza-se um arquivo padrão do *software*, arquivo de maré zero, para se aplicar tal correção. O ecobatímetro utilizado para a coleta de dados é um equipamento de última geração e que fornece dados na extensão “.all”, que já possuem o perfil de velocidade do som gravados junto ao dado bruto, realizando assim a correção para a trajetória do sinal, que transforma o tempo de chegada e ângulo do feixe em distâncias horizontais e vertical. Com isso, esta etapa de correção para velocidade do som foi feita automaticamente durante a aquisição e pré-processamento dos dados.

Após a aplicação do arquivo de maré zero e se conferir a presença das velocidades corrigidas, deve-se combinar os dados de batimetria. Assim feito, apesar de não ter sido finalizado o processamento, pois ainda há correções a serem feitas, o usuário já está habilitado a gerar um arquivo de superfície que pode lhe dar uma ideia inicial sobre a batimetria da região.

Sabendo disso e utilizando a ferramenta *Base Surface* do programa, gerou-se um modelo digital de terreno em 2D para ter uma primeira impressão quanto a morfologia da área. Tendo a superfície gerada, é possível se exportar os dados para o formato *ASCII XYZ*, que nos apresenta assim os valores para latitude, longitude e profundidade de cada ponto sondado. Com o arquivo *XYZ* da área em mãos, utilizou-se o *Geosoft Oasis Montaj* (também

disponível no laboratório da pós-graduação em Geologia e Geofísica Marinha da UFF) para gerar um grid em formato *Surfer V6* e confeccionar o mapa ilustrado na Figura 15, com o qual é possível se analisar profundidades e identificar as diferentes feições submarinas presentes na área de estudo. Esse formato de arquivo foi escolhido, pois pode-se importá-lo para o *Fledermaus*, utilizado neste trabalho para a visualização e análise dos modelos digitais de terreno parciais e final. A Figura 16 mostra um modelo digital de terreno em 3D da enseada de Deception gerado no *Fledermaus*.

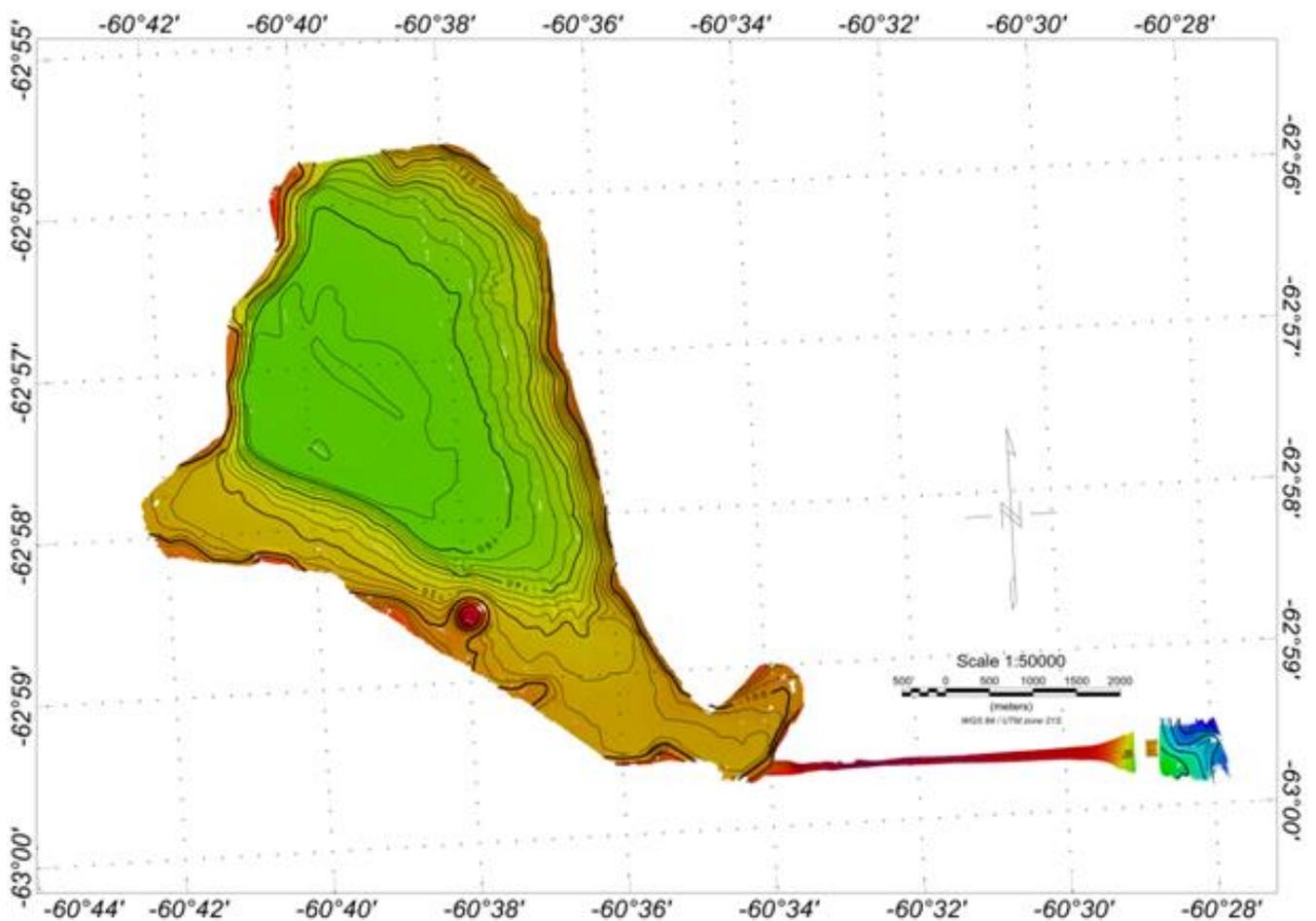


Figura 15 - Mapa batimétrico parcial para a região de estudo. É possível se analisar, mesmo que não sendo o modelo final gerado, diferentes feições da área neste modelo e suas profundidades.

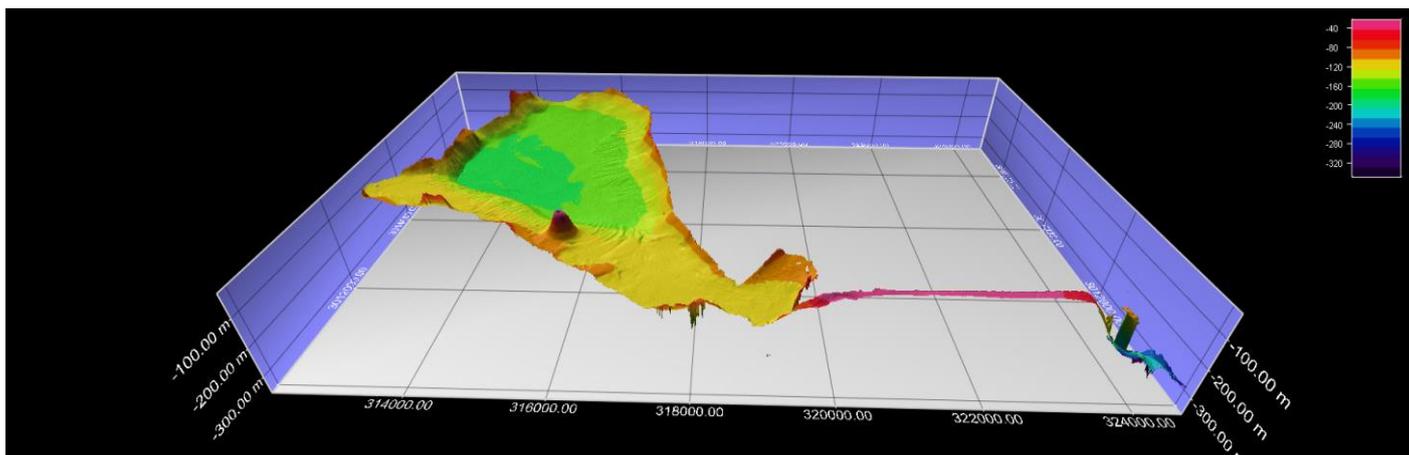


Figura 16 - Modelo parcial de terreno em 3D para a região de estudo.

Através desse modelo pode-se ter uma ideia sobre as profundidades na enseada e constatou-se, através da análise de perfis e pelas ferramentas presentes no *Fledermaus* que a profundidade máxima da região é de aproximadamente 170 metros, bem ao centro da enseada da ilha de Deception. A Figura 17 apresenta um dos perfis gerados para a área, perfil WNW-ESE do modelo digital de terreno parcial, que caracterizam de uma boa maneira, a morfologia da ilha de Deception e suas profundidades e feições.

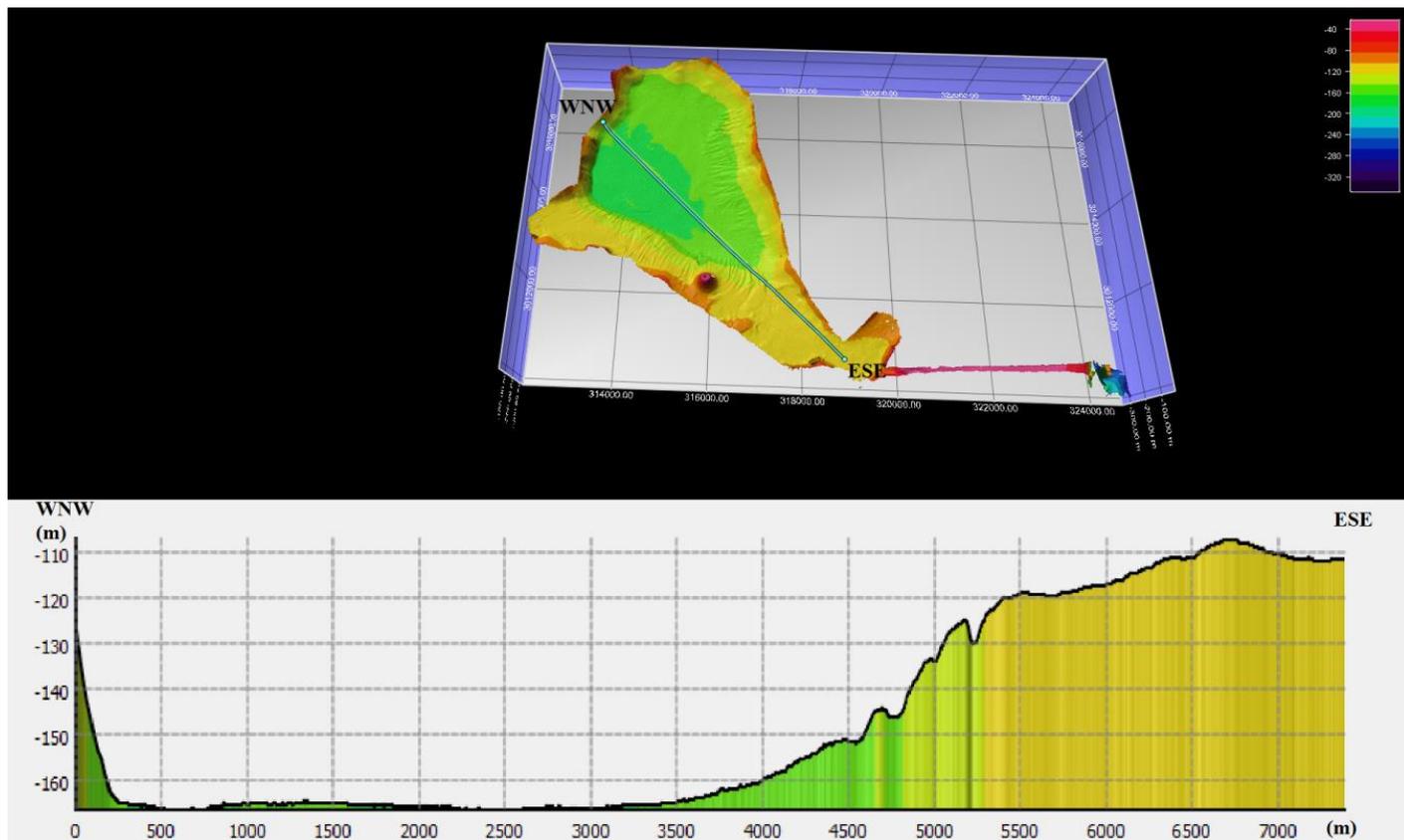


Figura 17 - Perfil WNW-ESE cruzando grande parte da enseada de Deception, apresentando suas extensões verticais e horizontal, em metros.

Feita essa análise inicial a partir de um modelo morfológico parcial para a área de estudo, podemos partir para o próximo passo do processamento, procedimento esse que precede a geração da superfície que melhor representa a região em questão. Utiliza-se a ferramenta *Subset Editor* para excluir os *spikes* que ainda permaneceram nos dados de batimetria, mesmo com todos os esforços do usuário do *software* para minimizar a presença desses erros em passos anteriores. A Figura 18 exemplifica de maneira bem clara um dos erros encontrados nesta etapa do trabalho. É possível visualizar uma imperfeição no fundo, imagem aumentada, o que caracteriza, para o local em questão, valores incorretos de profundidade, podendo assim mascarar diferentes feições características da região. Com isso, ao se utilizar esta ferramenta, podemos excluir definitivamente esses valores errôneos.

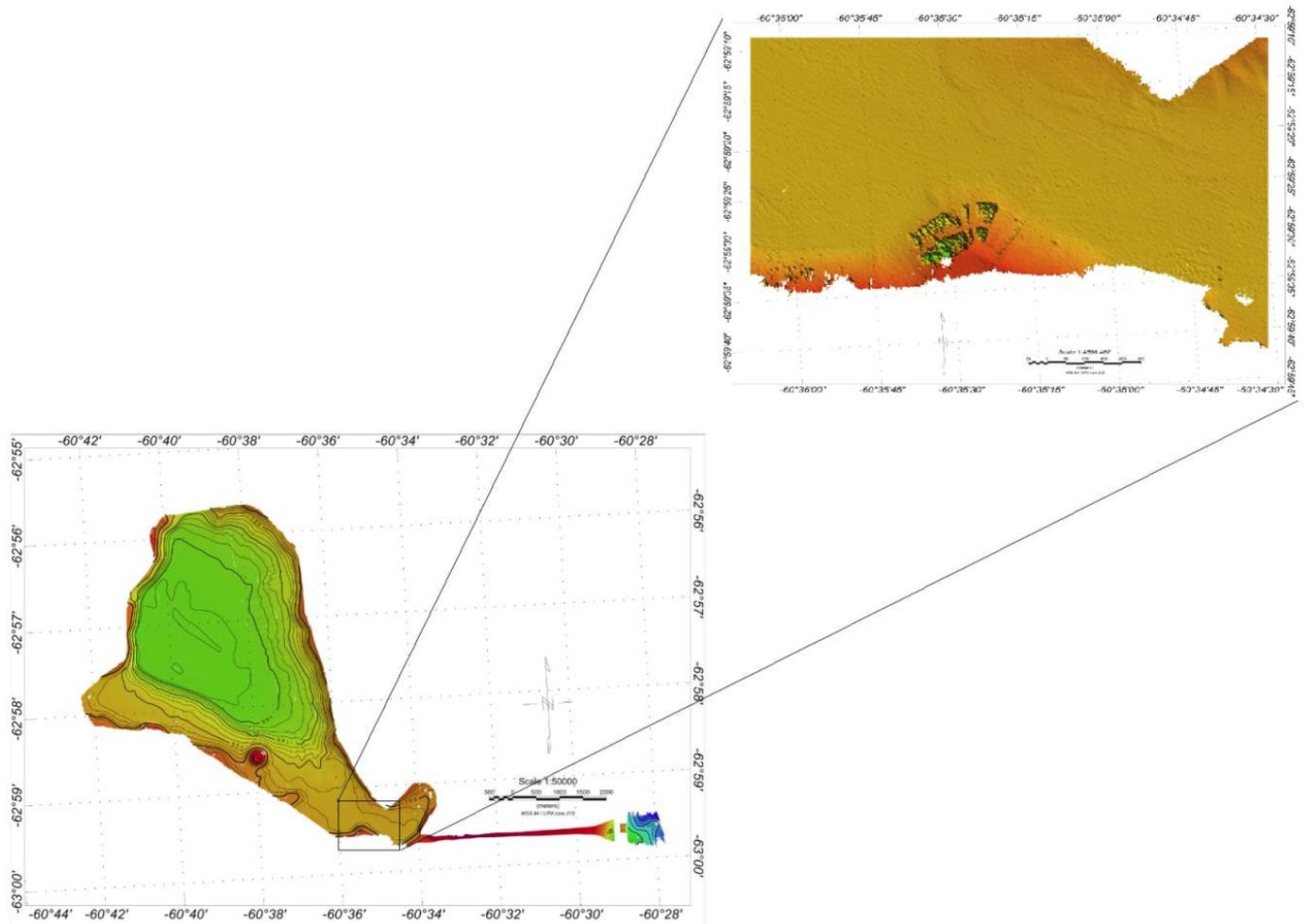


Figura 18 - Exemplo da presença de *spikes* nos dados de batimetria. Essas imperfeições devem ser corrigidas a fim de se ter uma boa caracterização batimétrica para a área.

A Figura 19, nos mostra como esses dados são representados na interface 2D do programa. Analisando-se os eixos presentes na visualização, nota-se uma queda muito rápida dos valores de profundidade à medida que se desloca sobre a linha, podendo variar de até 100 metros verticalmente, em uma progressão de apenas 50 metros.

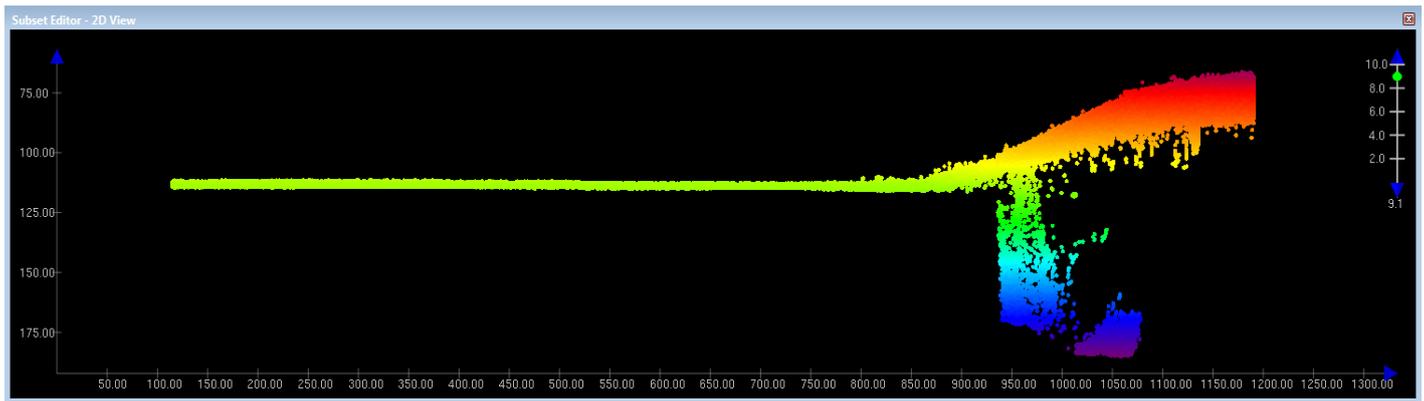


Figura 19 - Visualização dos valores de profundidade utilizando-se a ferramenta *Subset Editor* do programa.

Concluída esta etapa, finaliza-se o processamento dos dados para a batimetria da área. Podemos então gerar o modelo digital de terreno que melhor caracteriza a região da enseada da Ilha de Deception. O mosaico final utilizado para se fazer a caracterização morfológica está apresentado no tópico “Resultados”.

8.3.2. Processamento de *Backscatter* em *Caris Hips & Sips 9.0*

Para o processamento dos dados de *backscatter* foi utilizado o *software Geocoder*, presente no programa *Caris Hips & Sips*. O *software* trabalha de maneira independente e, o usuário precisa apenas selecionar as linhas as quais tem a intenção de se processarem os dados de *backscatter* (no caso deste trabalho todas as linhas levantadas) e definir alguns parâmetros a serem levados em conta, como a coloração escolhida para o mapa, definição do sistema de coordenadas do local, a resolução do modelo, etc.

O resultado é um modelo que nos apresenta os valores das intensidades do sinal de *backscatter*, possibilitando então, em conjunto com a análise de amostras coletadas durante a aquisição dos dados, que seja realizada a caracterização sedimentar para a enseada da Ilha de Deception. O mosaico de sinal *backscatter* gerado para o trabalho encontra-se no tópico “Resultados”.

8.3.3. Coleta e Análise das Amostras de Fundo da Ilha de Deception

Foram coletadas 4 amostras utilizando o amostrador de sedimentos tipo *Box-Corer* em diferentes pontos da enseada da Ilha de Deception. Para a realização da caracterização sedimentar feita neste trabalho, foram utilizados dados de 3 desses pontos de coletas. A Figura 20 mostra o lançamento do *Box-Corer*, fornecida pelo relatório de campo da comissão OPERANTAR XXXII.

As amostras de fundo foram analisadas no laboratório de testemunhos da UFF, pelo uso de um multi-perfilador de testemunhos (*Multisensor Core-Logger (MSCL)*) da marca *GEOTEK*. Foram determinados dados de densidade (ρ) e velocidades de ondas P (V_p) para cada uma das amostras e, a partir destes dados, foi calculada a impedância acústica dos sedimentos (I) segundo a equação (1).

$$I = \rho * V_p \quad (1)$$

Equação 1 - Cálculo da Impedância Acústica



Figura 20 - Equipamento *Box Corer* em preparação para ser utilizado para coletar amostras de fundo na Ilha de Deception. (Fonte: Relatório de campo - OPERANTAR XXXII).

A localização dos pontos 1, 2 e 3 de coleta das amostras pode ser visualizada no mapa, Figura 21, gerada utilizando *Google Earth*, em que os pontos são representados pelos marcadores. Suas coordenadas estão indicadas na Tabela 1.



Figura 21 - Localização dos pontos de coletas de amostras em *Box Corer*.

Tabela 1 - Localização em coordenadas dos pontos de coleta de amostras *Box Corer*.

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Latitude	62°56'13.80"S	62°56'23.70"S	62°57'25.50"S
Longitude	60°39'25.20"O	60°37'54.60"O	60°39'8.40"O

Com os dados adquiridos e analisados pelo perfilador, tivemos respostas para a granulometria, densidade e variação das velocidades das ondas P para as amostras. Segundo a Tabela 2, para os valores médios determinados com os dados fornecidos pelo perfilador, podemos nos certificar desses valores e definir algumas hipóteses quanto à caracterização sedimentar da enseada da Ilha de Deception. O tamanho médio dos grãos foi fornecido pelo perfilador em unidades métricas então, calculou-se através da equação 2 seus valores em unidade phi.

$$\phi = -\log_2^{d(mm)} \quad (2)$$

Equação 2 - Cálculo para a conversão da unidade para o tamanho médio dos grãos.

Onde d representa os valores para os tamanhos dos grãos, em milímetros.

Tabela 2 - Valores médios para as características de interesse à caracterização sedimentar da área.

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Tamanho médio dos grãos (phi)	6.83	6.99	6.97
Velocidade média de ondas P (m/s)	1532	1564	-
Densidade média (gm/cc)	1.71	1.80	1.61
Impedância acústica média (N.s.m-3)	2631	2818	-

Os valores de V_p e densidade das amostras apresentam valores muito similares o que nos parece coerente, pois pelo tamanho médio dos grãos e análise dos valores gerados para sinal *backscatter*, podemos caracterizar a área com um tipo de sedimento dominante. Para o ponto 3, os valores de velocidade de ondas P e impedância acústica se apresentaram estranhos, com valores muito abaixo do que seria esperado, então, os dados referentes a esses parâmetros foram descartados. A Tabela 3 apresenta as porcentagens relativas aos

tipos de sedimentos presentes nas amostras coletadas e, pela porcentagem de silte, observa-se, a predominância de grãos com granulometria fina ou muito fina.

Tabela 3 - Dados de granulometria analisados pelo multi-perfilador para as amostras coletadas na ilha de Deception.

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Cascalho (%)	0	0	0
Areia (%)	2	2	1
Argila (%)	13	14	13
Silte (%)	85	84	86

Assim, utilizando a escala logarítmica de KRUMBEIN & SLOSS (1963) para o conceito de granulometria dos sedimentos e seus intervalos, as amostras foram analisadas e datadas como uma lama siltosa. A Figura 22 mostra a classificação definida por KRUMBEIN & SLOSS (1963), confirmando o tipo de sedimento encontrado pelos valores calculados para o tamanho médio dos grãos, em unidades phi.

ϕ	Português	Inglês	mm
-9	Bloco	Boulder	512
-8			256
-7	Seixo	Cobble	128
-6			64
-5			32
-4	Cascalho muito grosseiro	Very coarse gravel	16
-3	Cascalho grosseiro	Coarse gravel	8
-2	Cascalho médio	Medium gravel	4
-1	Cascalho fino	Fine gravel	2
0	Areia muito grosseira	Very coarse sand	1,000
1	Areia grosseira	Coarse sand	0,500
2	Areia média	Medium sand	0,250
3	Areia fina	Fine sand	0,125
4	Areia muito fina	Very fine sand	0,0625
5	Silte grosseiro	Coarse silt	31,25
6	Silte médio	Medium silt	15,63
7	Silte fino	Fine silt	7,81
8	Silte muito fino	Very fine silt	3,91
9	Argila grosseira	Coarse clay	1,95
10	Argila média	Medium clay	0,98
11	Argila fina	Fine clay	0,49
12	Argila muito fina	Very fine clay	0,24
13	Colóides	Colloid	0,12

Figura 22 - Intervalo granulométrico proposto por (KRUMBEIN & SLOSS (1963)).

9. Resultados

A batimetria final gerada se mostrou de boa qualidade, permitindo que diferentes estruturas do fundo oceânico da enseada da Ilha de Deception fossem analisadas. Como parte dos resultados criou-se a Figura 23 que apresenta o mapa definido para a área, a Figura 24 para o modelo digital de terreno final gerado e a Figura 25 para se visualizar a superfície batimétrica no contexto da enseada da Ilha de Deception. É possível se analisar a profundidade, pelo contorno das isóbatas em intervalos de 5 metros, e algumas feições de fundo como ravinhas, uma depressão e uma estrutura elevada, podendo representar uma caldeira, banco, monte submarino ou cone vulcânico.

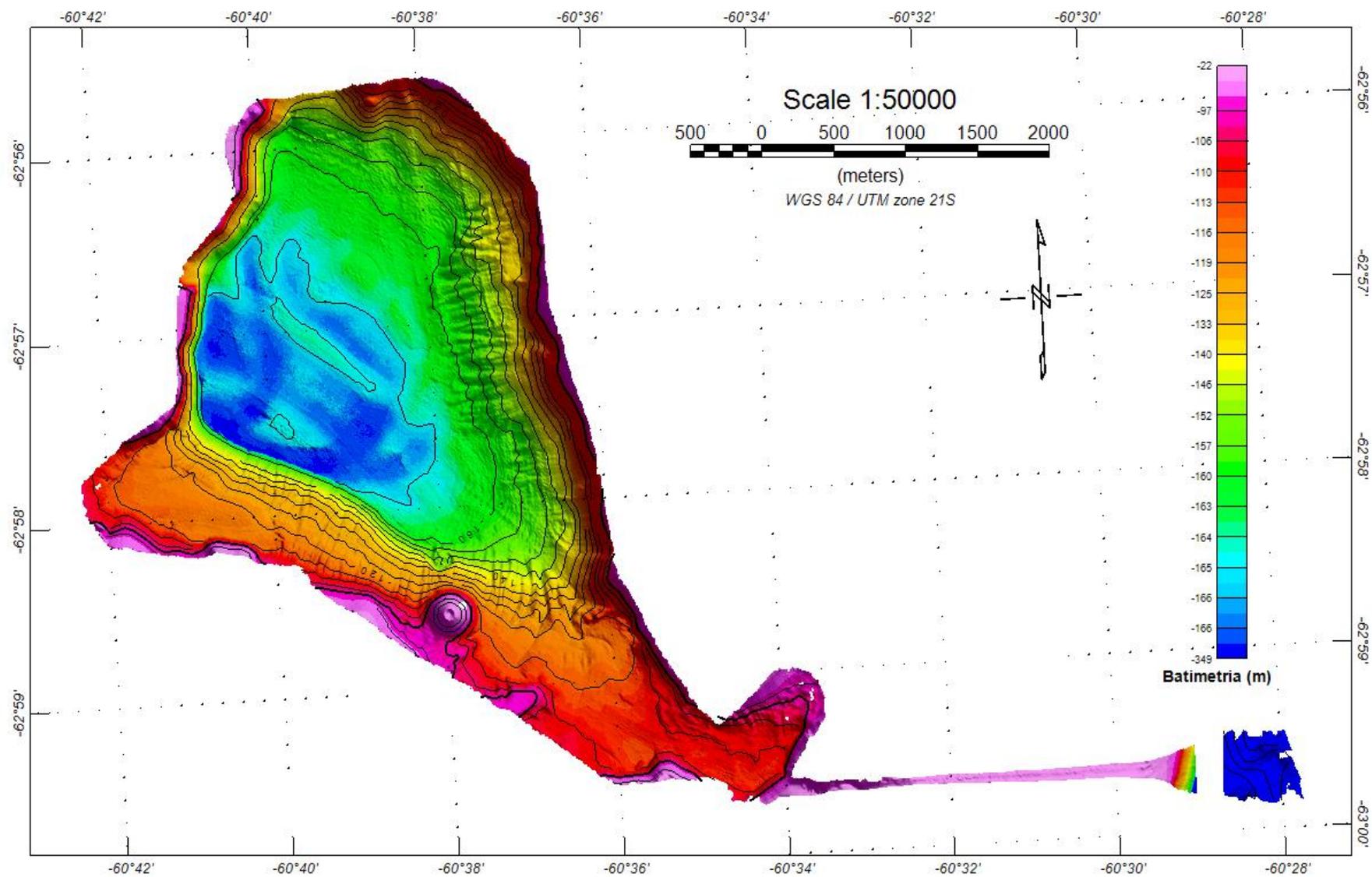


Figura 23 - Mapa batimétrico final gerado para a enseada da Ilha de Deception. Gerado utilizando-se ferramentas do software *Geosoft Oasis Montaj*.

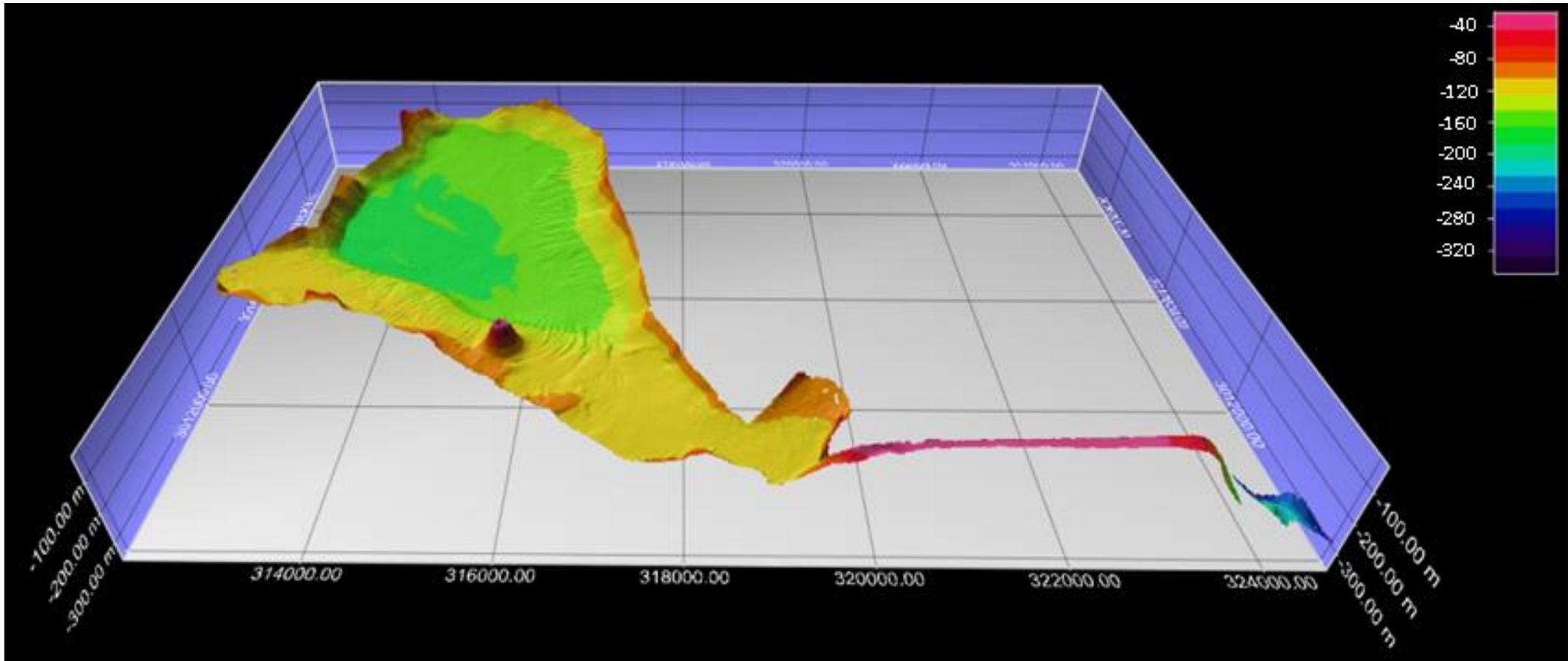


Figura 24 - Modelo digital de terreno final gerado para a Ilha de Deception.

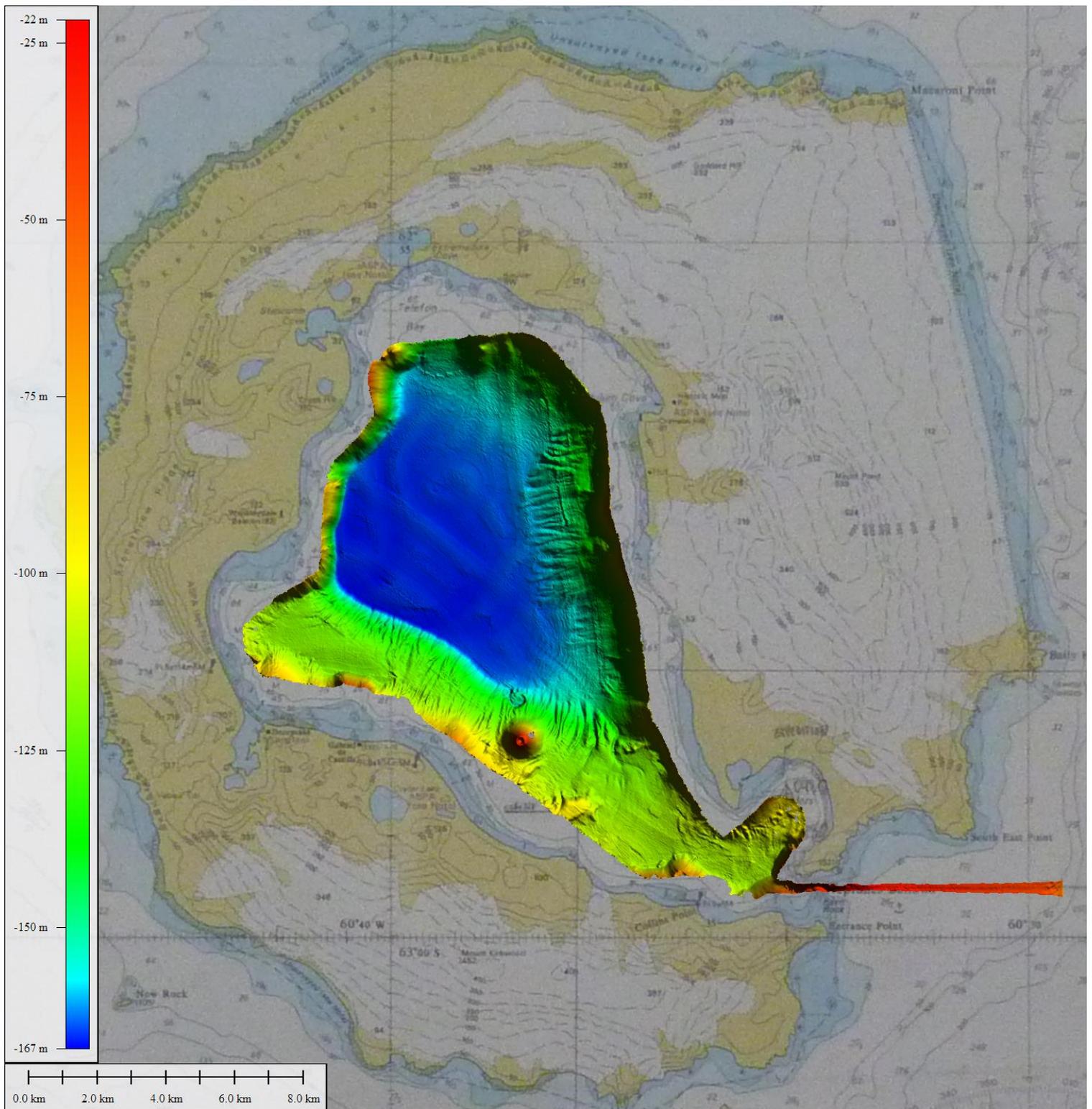


Figura 25 - Superfície batimétrica representativa da enseada da Ilha de Deception.

Com isso, utilizamos esse modelo digital de terreno final gerado para se analisar as estruturas encontradas para a área de estudo. Gerou-se um primeiro perfil, WNW-ESE, Figura 26 a seguir, cortando por completo a enseada da ilha, desde sua entrada, excluindo-se apenas o canal de entrada da enseada, a fim de se definir suas profundidades e, como foi analisado no modelo parcial gerado ainda durante o processamento dos dados, foi confirmado que sua região mais profunda tem aproximadamente 170 metros e a enseada apresenta um comprimento total de aproximadamente 8 km. O centro da enseada, a região de maior profundidade, é uma área já conhecida, definida por Baía de Foster e, pela utilização do *software Google Earth* calculou-se a área de aproximadamente 36.9 km² para a enseada da Ilha de Deception.

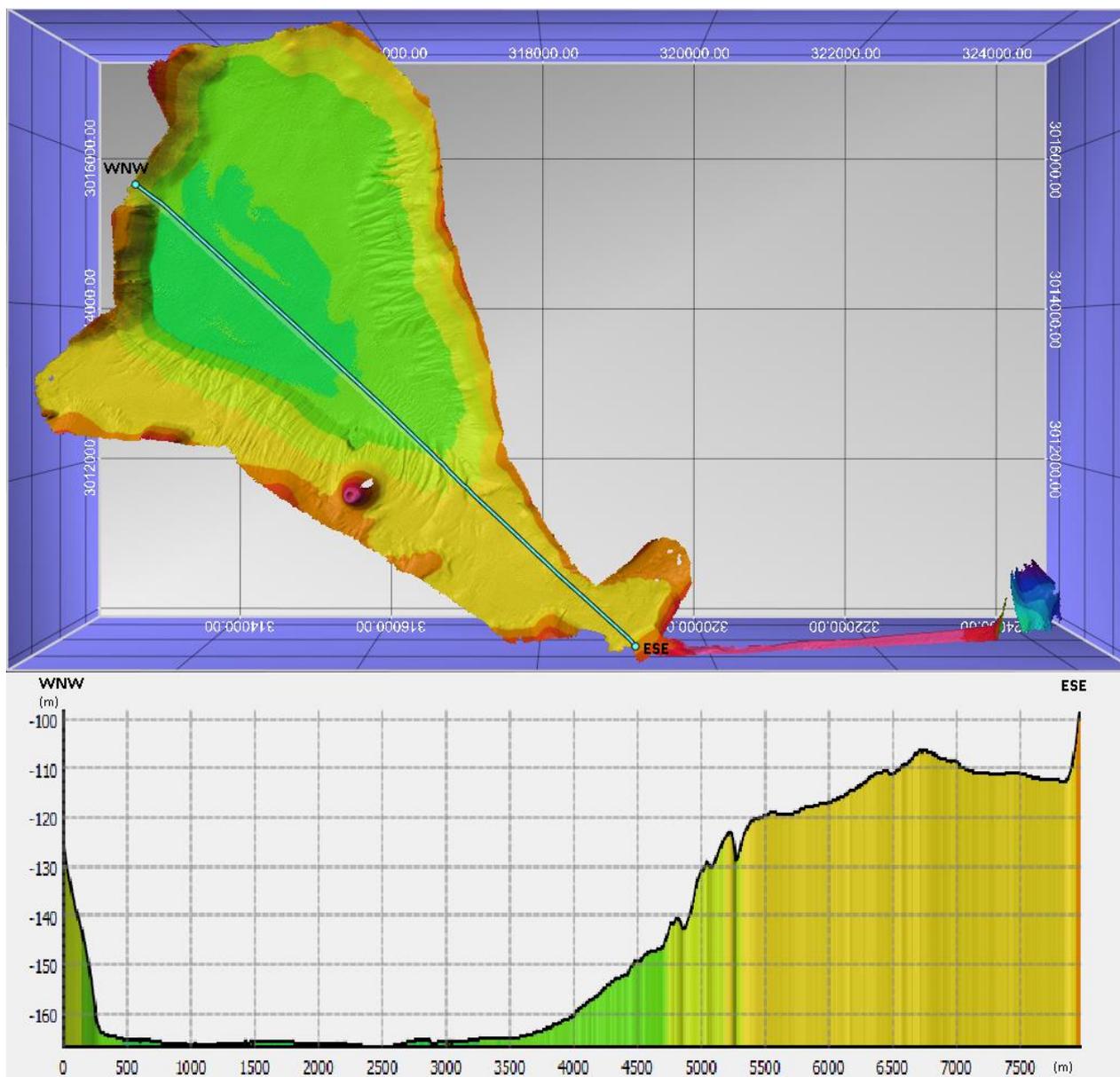


Figura 26 - Perfil 1, WNW-ESE, gerado para caracterizar profundidades e comprimento da enseada de Deception.

A batimetria nos indicou também a presença de certas ravinas submarinas presentes mais ao centro da enseada, ao longo das bordas sul, oeste e leste da Baía de Foster, que poderiam ser originadas por água de degelo ou pela intensa atividade vulcânica histórica da ilha. MAGRANI (2011) descreve que em ambientes glaciais (*latu sensu*) o gelo e a água de degelo são os principais agentes de erosão, transporte e deposição de sedimentos e, pela ação da gravidade, geleiras se movimentam gradiente abaixo, adentrando a baía e indo em direção ao fundo. A sedimentação em ambientes glaciais pode ocorrer diretamente a partir da geleira ou a frente, onde os agentes de transporte e deposição são correntes de água de degelo e fluxos de gravidade.

Passou-se o perfil 2, orientação N-S, Figura 27, para representar a morfologia dessas ravinas na borda leste da Baía de Foster. Percebe-se que tais estruturas se encontram nas partes mais profundas da enseada e que apresentam seus vales com pequenas variações verticais de até 2 metros, o que fortalece a teoria de que elas teriam sido formadas pelo arrasto de sedimentos no fundo, oriundos de água de degelo.

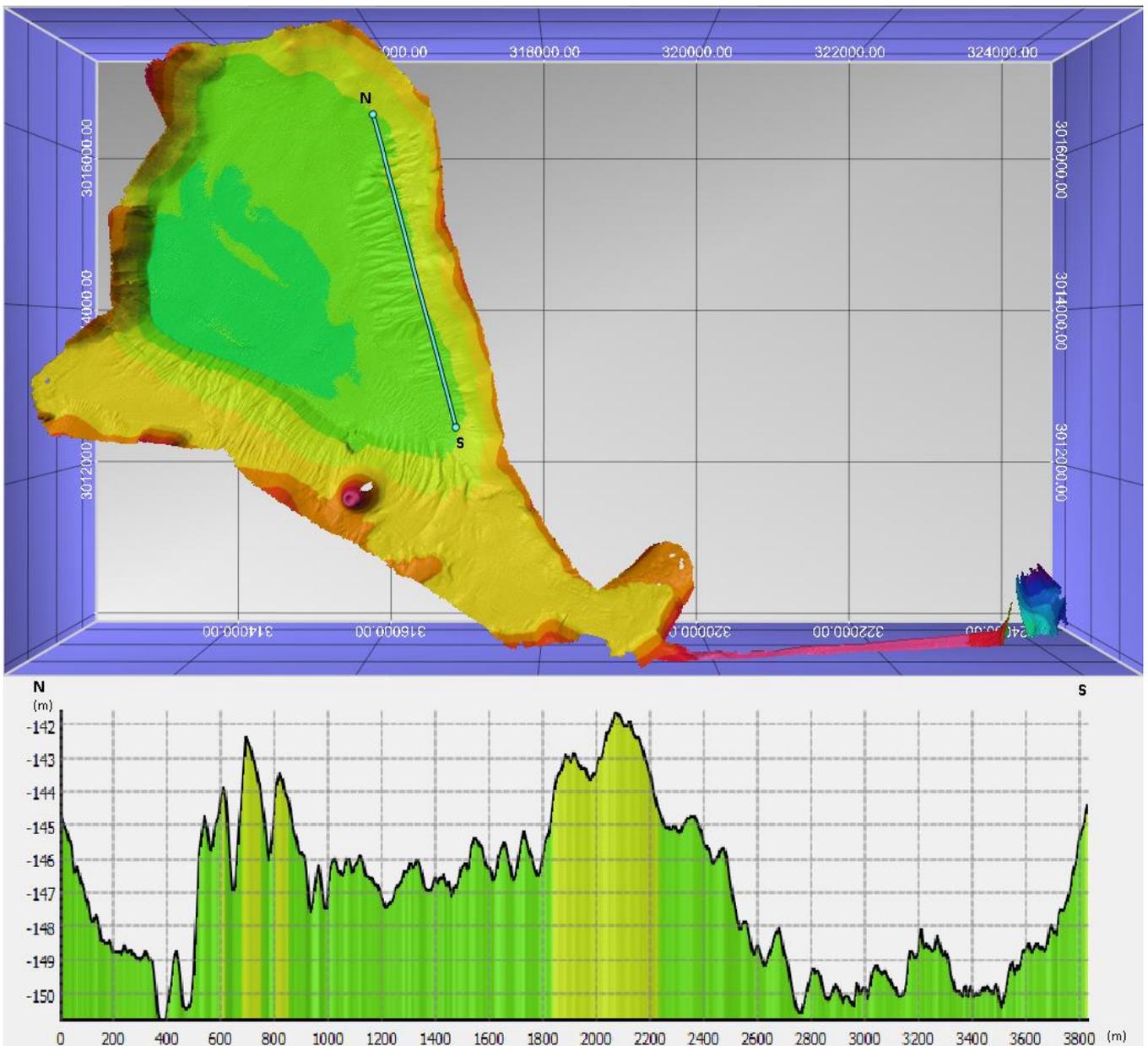


Figura 27 - Perfil 2, orientação N-S, ravinas na borda leste da Baía de Foster.

Foi caracterizada como uma depressão, a feição apresentada no perfil 3, de orientação W-E, Figura 28, com um variação vertical de até 12 metros e 160 metros de comprimento, presente na borda sul da baía.

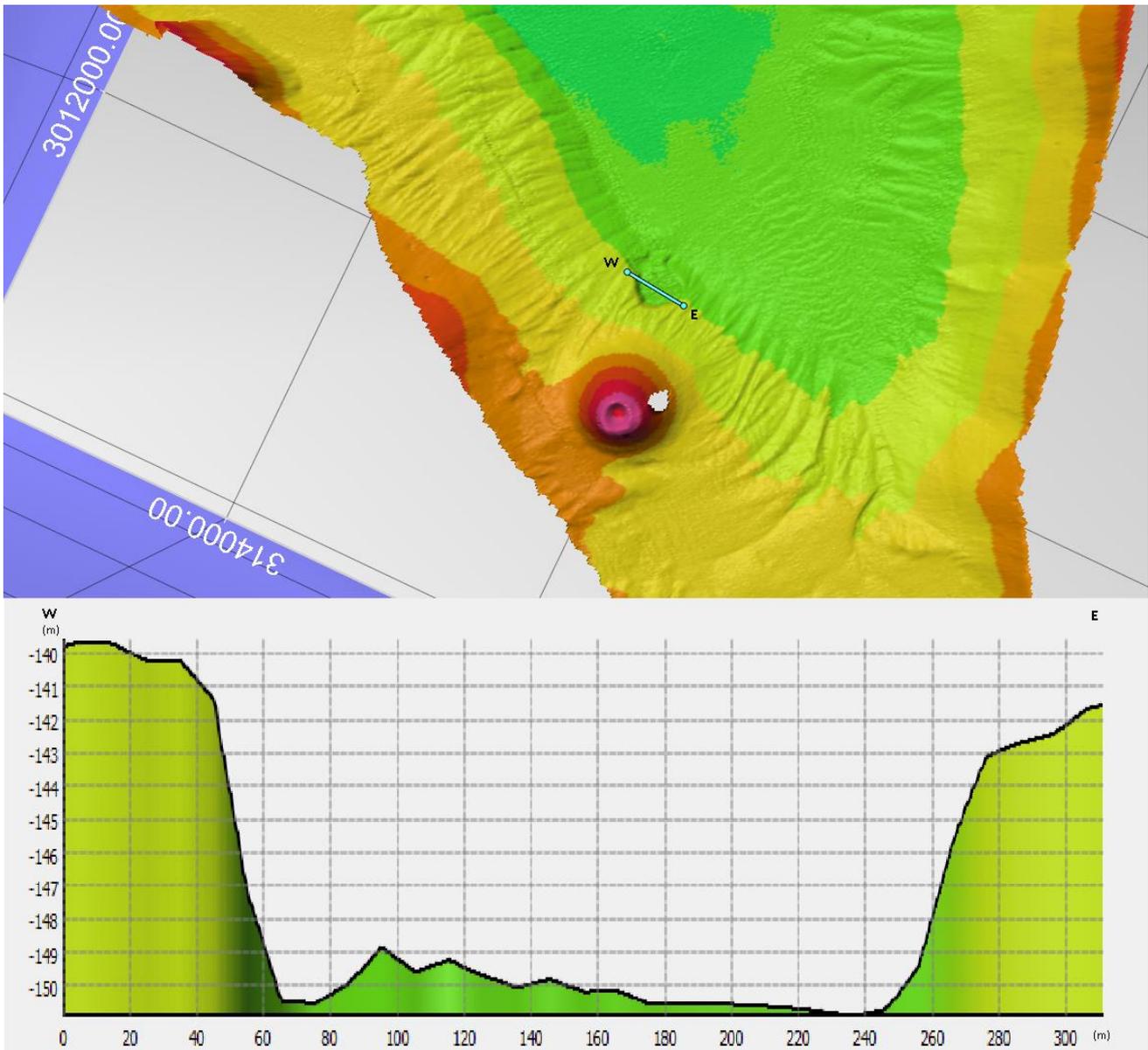


Figura 28 - Perfil 3, W-E, caracterizado como uma depressão na baía.

Por fim, para se concluir a caracterização morfológica da enseada, um perfil 4, também de orientação W-E, Figura 29, foi gerado com o intuito de se analisar a estrutura que mais nos chama a atenção para a batimetria da área. Uma elevação, que está para ser catalogada, representando um cone vulcânico. Esta feição apresenta, para uma variação horizontal de 100 metros, uma queda de até 40 metros em sua profundidade, com flancos apresentando um gradiente de aproximadamente $21,8^\circ$. É uma estrutura de até 600 metros de comprimento e que pode apresentar em seu topo profundidades em torno de 30 metros.

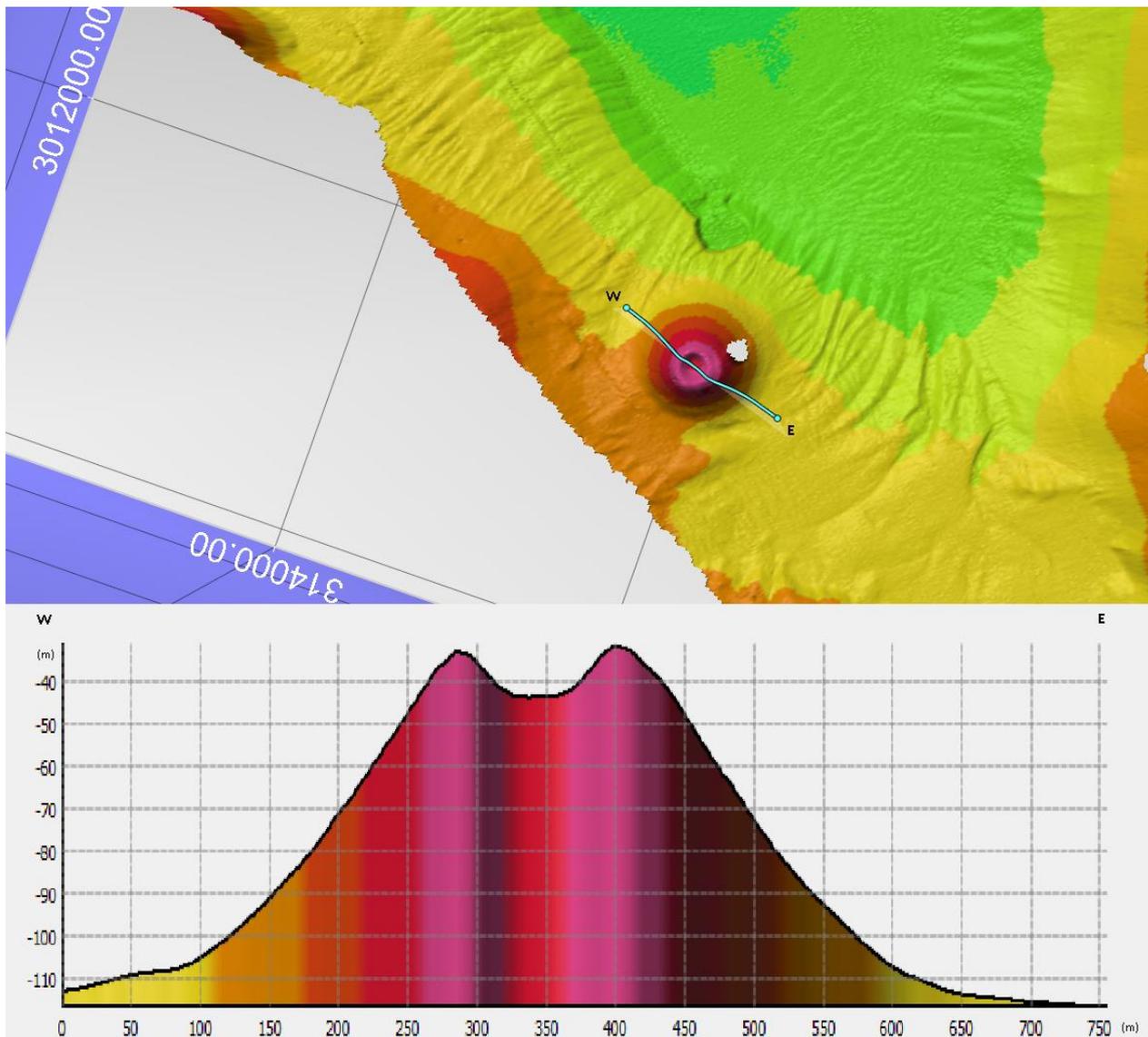


Figura 29 - Perfil 4, também de orientação W-E, caracterizando o cone vulcânico.

Como citado na Seção 8.3.2, o mosaico final para caracterização de intensidades de retorno do sinal (*backscatter*) para a região é mostrado na Figura 30 (inicialmente utilizou-se o mosaico com uma escala de cor diferente, escala de cor cinza, porém para uma melhor visualização deste mosaico e variação dos padrões de intensidades *backscatter*, escolheu-se a escala de cor laranja como padrão para o resultado final). Percebe-se que o mapa indica um padrão homogêneo na distribuição das intensidades adquiridas para o local, o que era esperado, pois como foi também indicado em 8.3.3, a distribuição de sedimentos para a área ocorre de maneira homogênea, quase que em sua totalidade um sedimento de granulometria muito fina, caracterizando uma lama constituída essencialmente por grãos de silte ($> 4\mu\text{m}$ e $< 64\mu\text{m}$).



Figura 30 - Mosaico final para a caracterização dos valores de intensidade *backscatter* da região.

Pelo desenvolvimento dessa mesma seção, 8.3.2, gerou-se o histograma representado na Figura 31 que, analisando-o em conjunto com a Figura 4, presente no capítulo 5 deste trabalho para a relação da variação angular x intensidades do sinal de retorno, nos permite afirmar o tipo de sedimentação definida para a área. Independentemente do ângulo de incidência dos feixes nota-se no histograma que os

valores de intensidades *backscatter* estão concentrados entre intensidades de -18 a -28 decibéis (dB), assim como o silte é representativo em grande parte por valores na faixa de aproximadamente -20 a -30 dB.

Mas, o que mais chamou atenção foi que a intensidade do *backscatter* também está padronizada para a área onde se encontra a feição caracterizada como um cone vulcânico. Indicando assim, que esta estrutura estaria totalmente coberta pelo sedimento lamoso depositado no fundo da baía.

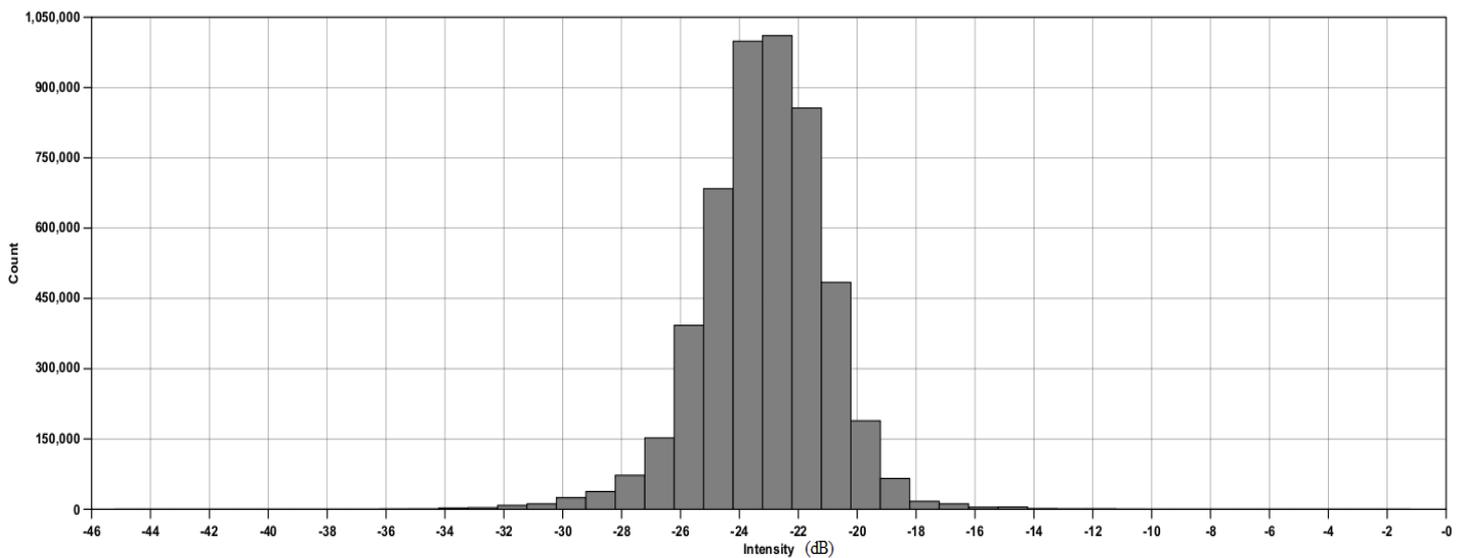


Figura 31 - Histograma correspondente a concentração dos valores de intensidades do sinal de retorno, em dB.

10. Conclusão

O trabalho passou por um processo inicial de revisão bibliográfica e assim, com o fornecimento dos dados, iniciou-se a parte prática do trabalho que se resumiu na aplicação do conteúdo de processamento e interpretação dos dados.

A caracterização batimétrica final gerada para a enseada da Ilha de Deception permitiu o reconhecimento da morfologia do fundo marinho, com a identificação de diversas feições associadas a estruturas vulcânicas e glaciais, conferindo também, dessa maneira, com a geologia representada para a região. Pode-se observar que a baía é assimétrica, com flancos mais íngremes no lado oeste da baía.

A caracterização acústica realizada após o processamento e análise de sinal *backscatter* indicou uma grande homogeneidade sedimentar para a área. As amostras coletadas na área confirmam essa interpretação, essencialmente composta por sedimento silteoso.

Assim, o método de classificação acústica utilizando-se de sistemas multifeixes e, associado com a coleta de amostras geológicas, representa atualmente uma maneira eficiente de se mapear o fundo marinho, obtendo informações quanto a suas características morfológicas e sedimentares.

Como a coleta dos dados de batimetria e as amostragens de fundo utilizadas neste trabalho foram viabilizadas pela realização de uma comissão da Marinha do Brasil, a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) se interessou por catalogar, junto ao projeto *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO) da Organização Hidrográfica Internacional, a feição do cone vulcânico presente na Ilha de Deception. Assim, será submetida uma proposta no mês de outubro deste ano, quando ocorrerá o 28º encontro da *GEBCO Sub-Committee on Undersea Feature Names* (SCUFN) na cidade de Niterói, com diversas informações como, coordenadas, profundidades, mapas, grids entre outras, a fim de se nomear tal estrutura. Pelo fato dos dados terem sido coletados e analisados por pesquisadores da Universidade Federal Fluminense, a DHN propôs aos mesmos que sugerissem o nome a ser proposto para a estrutura. A seguir, se apresentam alguns dos modelos e perfis que poderão caracterizar a proposta a ser submetida, Figuras 32 e 33.

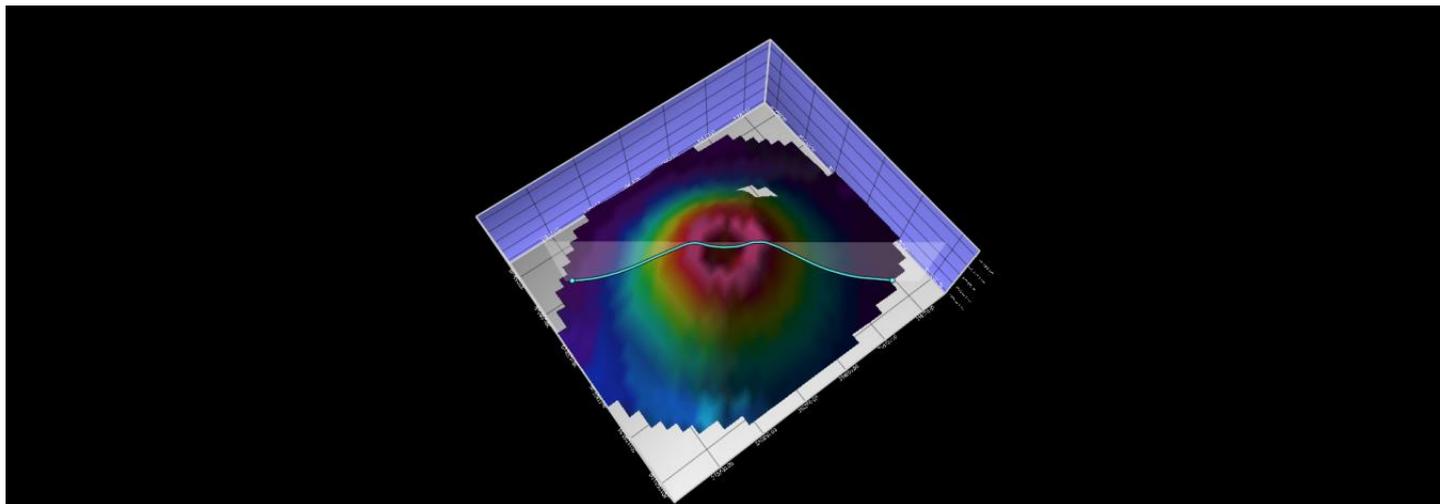


Figura 32 - Modelo digital de terreno para a feição a ser submetido.

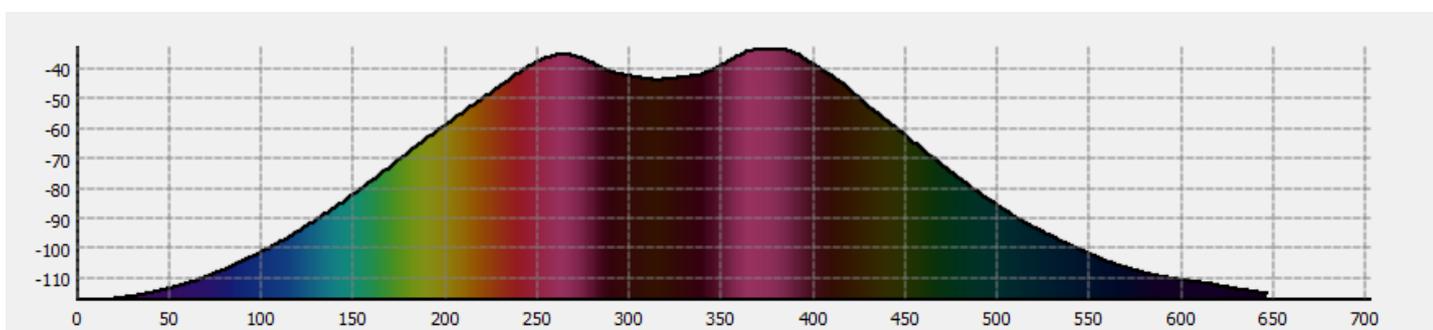


Figura 33 - Modelo de perfil para a feição a ser submetido.

11. Referências

- ALDAYA, F.; MALDONADO, A. El borde de la Placa Antártica entre las islas Shetland y Orcadas del Sur (Península Antártica). **Revista de la Sociedad Geológica de España**, v. 8, n. 3, p. 273-284, 1995.
- BULLA, L. A. S.; HARTMANN, C. Aplicação do QTC SIDEVIEW na classificação de sedimentos através de imagens de Sonar de Varredura Lateral, num trecho do canal de São Gonçalo, RS, Brasil. **GRAVEL**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 19-30, Julho 2009.
- COLLINS, W. T.; RHYNAS, K. P. Acoustic Seabed Classification Using Echosounders: Operational Considerations and Strategies. **Canadian Hydrographic Conference**, Victoria - Canada, p. 1-7, 1998.
- CONCEIÇÃO, F. V. **Utilização Do Backscatter De Sonares Multifeixe Na Classificação Acústica Do Fundo Oceânico: Um Exemplo De Aplicação Na Enseada De Martel, Baía Do Almirantado, Península Antártica**. Projeto de Graduação em Geofísica, Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ, Brasil, p. 54. 2009.
- FERREIRA, P. et al. Island arc-magmatism fingerprint in the geochemistry of tephra from Deception Island, Antarctica. **Comunicações Geológicas**, p. 99-104, 2014.
- FONSECA, L.; MAYER, L. Remote Estimation of Surficial Seafloor Properties Through the Application of Angular Range Analysis to Multibeam Sonar Data. **Marine Geophysical Researches**, v. 28, n. 2, p. 119-126, Junho 2007.
- FRANCIS, J. E.; PIRRIE, D.; CRAME, J. A. Cretaceous-Tertiary High-Latitude Palaeoenvironments: James Ross Basin, Antarctica. **Geological Society, Special Publications**, 258, Londres, p. 1-5, 2006.
- GALINDO-ZALDIVAR, J. E. A. Bransfield Basin Tectonic Evolution. In: FÜTTERER, D. K. **Antarctica: contributions to global earth sciences**. Berlin, Heidelberg, Nova York: Springer-Verlag, 2006. Cap. 5.4, p. 243-248.
- GAMBOA, L. A. P.; BARROCAS, S. L.; MALDONADO, P. R. Investigações Geofísicas no Estreito de Bransfield e Mar de Bellingshausen – Antártica. **Sociedade Brasileira de Geologia**, Belém, p. 2343-2357, 1988.
- HAWKES, D. D. The Geology of the South Shetland Islands: II, The Geology and Petrology of Deception Island. **Falkland Islands Dependencies Survey. Scientific Report No. 27.**, p. 43, 1961.
- HEWITT, A.; SALISBURY, R.; WILSON, J. Using Multibeam Echosounder Backscatter To Characterize Seafloor Features. **Sea Technology Magazine**, p. 3-6, 30 December 2013.
- KRUMBEIN, W. C.; SLOSS, L. L. **Stratigraphy and Sedimentation**. 2. ed. Freeman, San Francisco: [s.n.], 1963.

MACLENNAN, D. N.; SIMMONDS, E. J. **Fisheries Acoustics**. 5. ed. Londres: Springer, v. Fish and Fisheries Series, 2005.

MAGRANI, F. J. G. **Ecocaráteres sísmicos e correlação sedimentar na margem continental do arquipélago das Shetland do Sul, Antártica**. Projeto de Graduação em Geofísica, Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ, Brasil, p. 60. 2011.

MARTÍ, J.; GEYER, A.; AGUIRRE-DIAZ, G. Origin and evolution of the Deception Island caldera (South Shetland Islands, Antarctica). **Bulletin of Volcanology**, n. 75, p. 1-18, 2013.

MARTÍ, J.; VILA, J.; REY, J. Deception Island (Bransfield Strait, Antarctica): an Example of a Volcanic Caldera Developed by Extensional Tectonics. **Geological Society, Special Publications**, Londres, v. 110, p. 253-265, 1996.

PINHO, M. P.; MADUREIRA, L. S. P.; CALLIARI, L. J. Integração entre dados morfológicos do fundo e termo-halinos da coluna d'água da plataforma externa e talude das bacias de Pelotas e Santos em um SIG 3D. **6º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás**, Florianópolis, p. 1-8, Outubro 2011.

PRESTON, J. M. Acoustic Classification Of Seaweed And Sediments With Depth-Compensated Vertical Echoes. **IEEE Xplore - OCEANS Conference**, Boston, p. 1-5, 2006.

PRESTON, J. M.; BIFFARD, B. R. Acoustic Classification With Sounder Echoes: Isolating Effects Of The Seabed On The Echo, 2007.

SHULTZ, C. H. Petrology of the Deception Island Volcano, Antarctica. **Antarctic Journal of the United States**, v. 5, n. 4, p. 97-98, Julho-Agosto 1970.

SOUZA, D. S. D. **Estudos na Antártica sobre a abertura do Estreito de Bransfield utilizando a magnetometria**. Projeto de Graduação em Geofísica, Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ, Brasil, p. 58. 2011.

USACE. Acoustic Multibeam Survey Systems For Deep-Draft Navigation Projects - Chapter 11, p. 1-33, 01 January 2001.